

Jussi Lahti

PURKUMATERIAALIEN JATKOKÄSIT- TELYVAIHTOEHDOT

Rakennetun ympäristön tiedekunta
Kandidaatintyö
Kesäkuu 2019

TIIVISTELMÄ

Jussi Lahti: Purkumateriaalien jatkokäsittelyvaihtoehdot
Kandidaatintyö
Tampereen yliopisto
Rakennustekniikka
Kesäkuu, 2019

Tässä työssä selvitetään rakentamisen purkumateriaalien jatkokäsittelyvaihtoehtoja. Purkumateriaaleja tutkitaan uudelleen- ja uusiokäytön näkökulmista, sekä puuta myös energiana hyödyntämisen näkökulmasta. Pääpaino työssä oli löytää käytössä olevat menetelmät yleisimpien purkumateriaalien jatkokäsittelylle, mutta myös selvittää mahdollisia kehitteillä olevia tekniikoita jätteen hyödyntämiselle. Selvitystä tehtiin betonille, puulle, teräkselle, eristeille, tiilelle, lasille ja kipsille. Useimpien materiaalien kohdalla uudelleen- ja uusiokäytön tehokkuus ovat kehittämisen tarpeessa. Etenkin betonilla ja puulla, joista suurimmat jätemäärät muodostuvat. Puu hyödynnetään pääasiassa energiana, mutta energiahyödyntämistä ei hyväksytä Euroopan Unionin jätepuitedirektiivissä kierrättämiseksi. Betonin kohdalla sementin valmistus on runsaasti energiaa vaativaa ja olisi mielekästä sitoa valmistukseen käytetty energia mahdollisimman tehokkaasti myös, kun rakennuksen elinkaari tulee päätökseensä. Nykyisin betoni pääasiassa murskataan ja käytetään maanrakentamisessa kantavissa ja jakavissa kerroksissa. Uudelleenkäyttöä betonirakenteille ei toteuteta kuin korkeintaan hallirakenteissa. Lasin, kipsin ja teräksen kierrätys toimii tehokkaimmin selvityksessä tarkastelluista materiaaleista, mutta kehitystarpeita vielä esiintyy.

Työssä selvitettiin myös markkinoilla olevia rakentamisen uusiomateriaaleja, sekä luotiin pinta-puolinen katsaus ulkomaiden rakennus- ja purkujätteen käsittelyyn. Euroopassa suoritetaan parhaillaan useita kehityshankkeita, joissa pyritään parantamaan rakentamisen kiertotalousmallia ja materiaalitehokkuutta, sekä innovoimaan uusia menetelmiä jätteen käsittelylle ja uusien tuotteiden kehittämiseksi. Rakentamisen uusiomateriaaleja on ainoastaan muutamia markkinoilla. Euroopan komission Horisontti2020 -projekti on rahoittanut useita tärkeitä kehityshankkeita, ja näiden avulla uusia innovaatioita on syntynyt. Hankkeet päättyvät ensivuoden aikana, jolloin on saatavilla myös kattavampia raportteja kuin tätä työtä tehdessä.

Työ suoritettiin pääsääntöisesti kirjallisuuskatselmuksena julkaistuista tutkimuksista ja raporteista, mutta uuden tiedon löytämiseksi sitä jouduttiin etsimään paljon myös yritysten nettisivuilta.

Avainsanat: Uudelleenkäyttö, uusiokäyttö, uusiomateriaali, jatkokäsittely, hiilijalanjälki

SISÄLLYSLUETTELO

1. JOHDANTO	1
2. PURKUMATERIAALIEN HYÖDYNTÄMINEN SUOMESSA	2
2.1 Betoni.....	2
2.1.1 Uudelleenkäyttö	3
2.1.2 Uusiokäyttö	4
2.2 Puu	5
2.2.1 Uudelleenkäyttö	6
2.2.2 Uusiokäyttö	7
2.2.3 Muu hyödyntäminen.....	8
2.3 Teräs.....	9
2.3.1 Uudelleenkäyttö	9
2.3.2 Uusiokäyttö	10
2.4 Eristeet.....	10
2.4.1 Mineraalieristeet.....	10
2.4.2 Muovieristeet	12
2.4.3 Puukuitueristeet	12
2.5 Tiili	13
2.5.1 Uudelleenkäyttö	13
2.5.2 Uusiokäyttö	14
2.6 Lasi	14
2.6.1 Uudelleenkäyttö	14
2.6.2 Uusiokäyttö	15
2.7 Kipsilevyt.....	16
2.7.1 Uudelleenkäyttö	16
2.7.2 Uusiokäyttö	16
3. RAKENTAMISEN UUSIOTUOTTEET	18
3.1 Haasteet	18
3.2 Markkinoilla olevat uusiomateriaalituotteet	18
3.2.1 Betoniset uusiokiviainekset	19
3.2.2 Lasivilla ja muut eristeet.....	19
3.2.3 Teräs	19
3.2.4 Betonivalmisteet.....	20
4. PURKUMATERIAALIEN HYÖDYNTÄMINEN ULKOMAILLA	21
4.1 Kehityshankkeet Euroopassa	21
4.1.1 Horisontti 2020.....	22
4.1.2 BAMB ja HISER.....	22
4.1.3 RE4.....	23
4.1.4 Collectors.....	24
4.1.5 VEEP	24
4.2 Purkumateriaalien hyödyntämisen tila Euroopan ulkopuolella	25
4.2.1 Yhdysvallat	25
4.2.2 Kiina.....	26
5. YHTEENVETO JA JOHTOPÄÄTÖKSET	27
LÄHTEET	30

1. JOHDANTO

Suomen nykyinen rakennuskannan uusiutuminen on hidasta, sillä uusiutuminen tapahtuu vain noin prosentin vuosivauhdilla (Vuorinen 2018). Nykyinen uusiutumismisnopeus tarkoittaa korjausrakentamisen määrän lisäämistä. Erityisesti 70- ja 80-luvuilla rakennettuja omakotitaloja, rivitaloja ja kerrostaloja on remontoitava nyt ja tulevaisuudessa kasvavissa määrin (Nippala & Vainio 2016). Kaikkia rakennuksia ei kuitenkaan ole syystä tai toisesta syytä korjata ja nämä rakennukset päätyvät purettavaksi.

Työn tavoitteena on tehdä selvitys nykyisistä rakennusten purkumateriaalien jatkokäsittelyvaihtoehtoista Suomessa. Mitä menetelmiä nykyisin käytetään ja onko kehitteillä uusia teknologioita? Lisäksi työssä pyritään selvittämään, mitä menetelmiä ulkomailla toteutetaan tai kehitetään purkumateriaalien hyödyntämiseksi. Työ on yhdessä toimeksiantajan kanssa päätetty rajata vuoteen 2010, jolloin edellinen vastaava selvitys (Huuhka 2010) on ilmestynyt.

Toisessa luvussa perehdytään eri rakennusmateriaalien uudelleen- ja uusiokäyttöön Suomessa. Kolmannessa luvussa selvitetään olemassa olevien uusiomateriaalien käyttöä rakentamisessa, ja mitä haasteita tähän liittyy. Neljäs luku käsittelee rakennussektorin kiertotalouden ja materiaalitehokkuuden, sekä jätteiden hyödyntämisen kehityshankkeita Euroopassa. Neljännessä luvussa luodaan myös suppea katsaus Kiinan ja Yhdysvaltojen talousalueiden rakennus- ja purkujätteiden määriin ja näiden jätteiden hyödyntämismenetelmiin. Johtopäätökset sekä yhteenveto löytyvät viimeisestä luvusta.

2. PURKUMATERIAALIEN HYÖDYNTÄMINEN SUOMESSA

EU:n vuonna 2008 julkaisema jättepuitedirektiivi (2008/98/EY) tavoittelee rakennus- ja purkujätteen osalta 70 % kierrätystavoitetta vuoteen 2020 mennessä. Vuonna 2014 Suomessa kierrätettiin noin 58 % rakennus- ja purkujätteestä. Kaatopaikalle päätyy 10 % rakennusjätteestä ja energiana hyödynnetään 32 %. Korjaus- ja purkutoiminnan osalta luotettava jätemäärä tieto puuttui, sillä alan toimijoilla ei ole digitaalista raportointivertailuetta. (Salmenperä et al. 2016)

Vuonna 2011 voimaan tulleen jätelain mukaan (Finlex 646/2011) kaikessa toiminnassa on noudatettava etusijaisjärjestystä, jossa ensisijaisesti on vähennettävä syntyvän jätteen määrää ja haitallisuutta. Jos jätettä kuitenkin syntyy, tulee se valmistella uudelleenkäyttöä varten. Jos uudelleenkäyttöä ei pysty toteuttamaan, mietitään uusiokäyttövaihtoehtoja. Uusiokäytön jälkeen tutkitaan muut hyödyntämistavat, esimerkiksi jätteen hyödyntäminen energiaksi, ja jos jäte ei kelpaa energiaksi, päätyy se loppukäsittelyyn. Euroopan tasolla noin kolmasosa kaikesta syntyvistä jätteistä on rakennus- ja purkujätettä (Peuranen & Hakaste 2014). Seuraavissa alaluvuissa perehdytään erityisesti uudelleen- ja uusiokäyttöön, mutta tutkitaan myös muita hyödyntämistapoja jätteelle.

2.1 Betoni

Betoni on Suomessa ja maailmalla eniten käytetty rakennusmateriaali. Nykyisen betonin kaltaisilla materiaaleilla on pitkä historia, sillä sementin kaltaisia sideaineita on käytetty muun muassa pyramidien rakentamisessa. Tällöin sideaineena toimi poltettu kipsi. Antiikin roomalaisilla oli myös taito valmistaa betonin kaltaista seosta. Taito kuitenkin hukkui Rooman tuhon myötä, ja nykyinen betoniosaaminen onkin alkanut kehittymään vasta 1800-luvun Englannista, jolloin englantilainen muurari Jospeh Aspdin kehitti portlandsementin. Suomessa betonirakentaminen yleistyi 1900-luvun alkupuolella. (Haara & Betoniyhdistys 2018)

Betoni koostuu kolmesta pääraaka-aineesta, jotka ovat sementti, kiviaines ja vesi. Lisäksi betoniin lisätään erilaisia lisä- ja seosaineita työstettävyyden ja muiden haluttujen ominaisuuksien takaamiseksi. Sementti ja vesi muodostavat reagoidessaan sementtikiveä, joka sitoo yhteen betonin kiviaineksen ja muut ainesosat. Sementin valmistus vaatii paljon energiaa. Prosessin suurin energiankulutus syntyy sementtiklinkkerin valmistuk-

sesta, kun poltetaan kalkkikiveä ja muita mineraaleja kiertouunissa noin 1 450 °C:n lämpötilassa. Prosessissa syntyy myös suuri määrä hiilidioksidia. On arvioitu, että tuhannen kilon Portland-sementin valmistus tuottaa myös tuhat kiloa hiilidioksidipäästöjä (Fernández-Jiménez et al. 2006, Hirvijoen 2018 mukaan). Betoniteollisuus on pyrkinyt vähentämään aiheuttamiaan ympäristörasituksia. Esimerkiksi kiertouuni voidaan lämmittää kierätyspolttoaineilla ja osa sementistä pystytään korvaamaan muun teollisuuden sivutuotteilla, kuten hiilen poltosta syntyvän lentotuhkan hyödyntämisellä. Myös raudanvalmistuksesta syntyvää sivutuotetta, masuunikuonaa, voidaan hyödyntää sementin valmistuksessa. (Haara & Betoniyhdistys 2018) Vaikka betoniteollisuus pyrkii pienentämään ympäristörasituksiaan betonin valmistusvaiheessa, tulee silti pohtia koko ketjun elinkaarta ja valmistusvaiheessa sidotun energian tehokkainta mahdollista hyödyntämistä.

2.1.1 Uudelleenkäyttö

Kun pystytään uudelleenkäyttämään vanhoja rakennneosia uudessa kohteessa, säästetään aina kyseisten elementtien uudelleenvalmistuksesta syntyvät ympäristörasitukset. Uudelleenkäyttö on usein ongelmallista, sillä vanhoja rakennuksia ei ole suunniteltu purettavaksi eikä elementtejä uudelleenkäytettäväksi. Yleisimmin betonirunkoiset hallirakennukset on valmistettu siten, että niiden purkaminen onnistuu ja siirtäminen toiseen paikkaan on mahdollista. Tämä kuitenkin edellyttää, että liitokset on suunniteltu siten, että ne on mahdollista purkaa ehjinä. Usein esimerkiksi kerrostalojen tapauksessa elementtejä voi olla vaikea saada irrotetuksi ehjinä. (Lahdensivu et al. 2015)

Elementtien uudelleenkäyttö riippuu lisäksi kyseisen rakennuksen iästä, rakenteiden altistumisesta säärasituksille ja tulevan rakennuskohteen käyttötarkoituksesta. Esimerkiksi julkisivuelementit ovat poikkeuksetta altistuneet säärasituksille ja saattavat sisältää mikrobikasvustoa, mikä rajoittaa elementtien uudelleenkäyttöä. Tällaisten elementtien uudelleenkäyttöä tulee aina tutkia tapauskohtaisesti. Pääsääntönä voidaan pitää, että irrotettu elementti tulee aina sijoittaa uudessa kohteessa rasitukseltaan edullisempaan paikkaan. Tämä tarkoittaa esimerkiksi sitä, että palkkien ja pilarien rasitusten tulee olla pienempiä tulevassa kohteessa. Lisäksi aiemmin sisätiloihin suunniteltua rakennetta ei saa altistaa uudessa kohteessa säärasituksille. Parhaiten uudelleenkäyttöön soveltuvat elementit, jotka voidaan irrottaa ja uudelleenasentaa helposti. Näitä ovat muun muassa teollisuus- ja hallirakennusten pilari- ja palkkirungot ja niihin liittyvät rakenteet, kuten TT- ja ontelolaatat. (Lahdensivu et al. 2015)

2.1.2 Uusiokäyttö

Betonille on pääsääntöisesti kaksi uusiokäyttömahdollisuutta, joista ensimmäinen on maanrakentamisessa uusiokiviaineksena kantavissa ja jakavissa maakerroksissa. Toinen käyttökohde on uuden betonin luonnonkiviainesta korvaavana runkomateriaalina.

Purkubetonista valmistettava uusiokiviaineksen valmistusprosessi on periaatteeltaan yksinkertainen. Aluksi betoni esikäsitellään, jolloin poistetaan isoimmat epäpuhtaudet ja pienennetään kappalekokoa murskaamisen helpottamiseksi. Esikäsitellyn jälkeen betoni päätyy murskattavaksi. Murskatusta betonista erotellaan raudoitusteräket ja mahdolliset muut metallit ja ne toimitetaan kierrätettäväksi. Tämän jälkeen betonimurskeesta poistetaan loput epäpuhtaudet, joita ei saatu poistettua esikäsitelyssä. Epäpuhtaudet käsitellään asianmukaisesti ja kierrätyskelpoiset materiaalit hyödynnetään mahdollisuuksien mukaan. Edellisten vaiheiden jälkeen murske seulotaan ja homogenisoidaan. Lopuksi valmis betonimurske varastoidaan. (Rudus 2017)

Uusiokiviaineksen ominaisuudet poikkeavat neitseellisestä kiviaineksesta ainakin siltä osin, että uusiokiviaines sisältää kivirakeen lisäksi myös sementtipastaa. Uusiokiviaines ei siten ole yhtä kestävä mekaanisesti kuin neitseellinen kivi. Uusiokiviaines on myös huokoista, joten se imee vettä sisäänsä. (Nieminen 2015)

Uusiokiviaineksen käyttöä uuden betonin valmistuksessa voidaan pitää hyvänä keinona hyödyntää betonia uusiokäytössä, mutta tämä vaatii neitseellisestä kiviaineksesta poikkeavien ominaisuuksien huomioonottamista suunnittelussa. Korkealujuusbetoneista valmistetuissa uusiokiviaineksissa vedenimukyky on huonompi kuin tavallisimmista betoneista valmistetuissa uusiokiviaineksissa. Vedenimukyvulla on vaikutusta betonin vesi-sementtisuhteeseen ja myös betonin työstettävyyteen. Uusiobetonin valmistuksessa käytetään neitseellistä kiviainesta, sementtiä, vettä ja vaihteleva prosenttiosuus uusiokiviainesta. Uusiokiviaines tulee kosteuttaa ennen betonin valmistusta, jotta voidaan välttää veden imeytyminen siihen. Tällöin sementille laskettu vesimäärä kuluu sementin hydratoitumiseen täysin. Uusiokiviaineksen kyllästämistä vedellä tulee kuitenkin välttää, ettei vettä vapautuisi sementtipastaan. Uusiokiviaineksen käyttö ei merkittävästi muuta haluttuja betonin ominaisuuksia, kun uusiokiviainesta käytetään 10–30 % koko kiviaineksesta. (Nieminen 2015)

Betonin uusiokäyttö maanrakentamisessa on hyödyllistä ympäristölle. Puretusta betonirakennuksesta saadun betonimurskan varastointi ulkoilmassa sitoo ilman hiilidioksidia betonimurskaan karbonatisoitumisen seurauksena. Karbonatisoitumisen nopeus kasvaa, kun betonirakeiden pinta-alaa kasvatetaan murskaamalla. Kun betonimurska hyödynnetään teiden tai pihojen kantaviin tai jakaviin rakennekerrokseen, on betoniin pitkällä

aikavälillä sitoutunut noin puolet sen valmistuksessa syntyneistä hiilidioksidipäästöistä. (Betoniteollisuus 2019)

Purkubetonin kanssa työskentelevät yritykset ovat kehittäneet betonimurskeelle omia tuotenimiä, kuten Deleten DeleKivi ja Ruduksen Betoroc. Nämä betonimursketuotteet soveltuvat maanrakentamisessa katu-, tie- ja kenttärakenteiden kantaviin ja jakaviin kerroksiin. Betonimurskeen hyödyntäminen on Ruduksen mukaan kannattavaa maan paremman kantavuuden ansiosta verrattuna perinteiseen kalliomurskaan, mutta myös kustannusten kannalta. Dettenborn (2013) on tutkimuksissaan osoittanut betonimurskasta tehdyille päällysrakenteille 15–25 % suurempia kantavuuksia verrattuna tavallisiin kivirakenteisiin päällysrakenteisiin pitkällä aikavälillä. Suuremmat kantavuudet perustuvat murskeen lujittumiseen, kun murskauksessa syntyneet sementin sitoutumattomat reaktiopinnat sitoutuvat. Tällöin myös betonimurskeen pitkäaikaiskestävyys ja materiaalihokkuus paranevat. Kustannussäästöihin päästään, kun voidaan tehdä ohuempia kantavia kerroksia. (Rudus 2017) Ruduksen (2017) mukaan päästään noin 40 % kustannussäästöihin, kun jakavan ja kantavan kerroksen materiaali korvataan betonimurskalla. Betonimurskeen käyttö vähentää myös sora- ja kalliomurskeen tuotantoa ja kuljettamista.

2.2 Puu

Puu on Suomen oloissa erinomainen materiaali, sillä sitä on runsaasti saatavilla. Erityisesti puulajeista mäntyä ja kuusta kasvaa paljon ja niitä käytetään myös eniten rakentamisessa. Puulla on hyvät lujuusominaisuudet sen keveyteen nähden ja sitä on myös helppo työstää. Puun hyvät ominaisuudet ovatkin johtaneet erilaisten puutuotteiden kehittämiseen ja valmistukseen. Puusta pystytään perinteisen hirsi- ja sahatavaran lisäksi tekemään erilaisia liimapuuvalmisteita (mm. CLT), kertopuupalkkeja ja -levyjä (LVL), OSB-levyjä ja lastulevyjä. Lisäksi puusta voidaan valmistaa myös puukomposiitteja, jossa toisena materiaalina toimii esimerkiksi muovi. Valmistuksen ympäristövaikutukset huomioiden puu onkin hyvä rakennusmateriaali, sillä puun kasvuvaiheessa siihen sitoutuu ilmasta hiilidioksidia ja siten puu toimii hiilidioksidinieluna. Puu on myös pitkäikäinen materiaali, jos käsittelyyn ja rakenteiden suunnitteluun kiinnitetään riittävästi huomiota. Puun pitkäikäisyydestä muistuttavat vanhat puukirkot, joista vanhin Suomeen rakennettu ja käytössä oleva on 1600-luvulta.

Nykyisin talonrakentamisen purkujätteestä jopa 41 % on puupohjaista jätettä (Peuranen & Hakaste 2014, s. 11). Näistä suuri osa koostuu erilaisista apumateriaaleista, kuten muottilaudoituksista ja hävikeistä. Puujäte vaihtelee laadullisesti ja sisältää usein epäpuhtauksia, kuten betonijäämiä tai hometta. Erityisesti sillanrakentamisessa puiset sahatavarasta valmistetut tukirakenteet ovat mittavia ja purettaessa sisältävät jonkin verran

epäpuhtauksia kuten nauloja, hiekkaa ja betonia. Näistä kierrätetään mahdollisuuksien mukaan noin 30 %. Isommat parrut kuitenkin on mahdollista käyttää uudelleen uusissa kohteissa jopa neljä kertaa. (Myller 2015, s. 30)

Suomessa purkupuuta hyödynnetään pääsääntöisesti energiana, sillä Suomen metsäteollisuuden sivutuotteena syntyy suuri määrä puhdasta ja hyvälaatuista puumateriaalia, jota voidaan hyödyntää esimerkiksi lastulevyjen ja komposiittien valmistamiseen. Tämän vuoksi purkupuulle ei ole syntynyt yhtä laajaa jatkohyödyntämistoimintaa kuten muualla Euroopassa (Manninen et al. 2015, s. 9, 27). Syy voidaan ilmaista myös kysynnän puutteena, jolloin tarjontaakaan ei ole. Tämä on ristiriitaista siihen nähden, että Suomen tulisi kuitenkin lisätä purkupuun kierrätystä EU-direktiivin mukaisen 70 % kierrätystavoitteen täyttämiseksi.

2.2.1 Uudelleenkäyttö

Puiset runkoelementit ovat uudelleenkäytettävissä, samoin kuin betoni- ja teräsrakenteet, kun liitokset ovat tehty yksinkertaisella menetelmällä. Yksinkertaisia liitoksia ovat pultti- ja ruuviliitokset tai teräsosakiinnitykset. Naula- ja liimaliitosten purkaminen ehjänä on vaikeaa ja liitoksista jää naula- tai liimajätettä puuhun. Höylätty ja sahattu puutavara ovat uudelleenkäytettävissä, kunhan ne ovat riittävän hyväkuntoisia. (RIL 216-2013)

Hirsirakennukset ovat vanhoista puurakennuksista helpoiten siirrettävissä uuteen paikkaan ja niiden siirtämiseen onkin kehitetty tekniikoita. Purku tapahtuu siten, että ensin hirret numeroidaan, jonka jälkeen purku voidaan suorittaa. Uudessa kohteessa hirret ladotaan samaan järjestykseen, kun ne aiemmin olivat.

Kattoristikoita voidaan myös uudelleenkäyttää. Tämä edellyttää uuden kohteen olevan jänneväliltään samankokoinen kuin kohde, josta ristikko alun perin oli, ja että ristikko ei ole vaurioitunut. Aiemmassa kirjallisuudessa todettiin (Huuhka 2010), että ristikoita voisi lyhentää solmukohdista, mutta se on käytännössä kannattamatonta taloudellisesti ja hankalaa rakennusteknisesti. Tämän voi perustella sillä, että on vaikea löytää ristikoita, joiden solmukohdat osuisivat uuden rakennuksen kannalta edullisesti. Lisäksi lyhentäminen vaatii paljon käsityötä sekä nostaisi kustannuksia. Ristikon lyhentäminen nostaisi myös ristikon korkeutta seinien kohdalta.

Kantavissa rakenteissa käytetty puu on aina lujuusluokiteltua, mikä on ongelmallista uudelleenkäytön kannalta. Kierrätyspuun lujuusluokitus mitätöityy ja lupa tulee hankkia uudelleen, kun puuta sijoitetaan uuteen käyttökohteeseen. Luokituksen hankkiminen on paitsi aikaa vievää, mutta myös kallista, sillä yleensä laadukkaan kantavan purkupuun

määrät ovat pieniä. (Pirhonen et al. 2011, s. 30) Tällaisessa tapauksessa yksikkökustannukset nousevat usein niin kalliiksi, että on taloudellisempaa tehdä kantavat rakenteet uudesta puusta. Lujuusluokitteluun puuta voidaan käyttää rakenteissa, jotka eivät vaadi puulta lujuusluokituksia. Tällaisia kohteita ovat muun muassa yksilöllisten kohteiden sisustukset (Pirhonen et al. 2011, s. 30).

Kyllästetyn puun osalta uudelleenkäyttö on mahdollista suuremmille palkeille, tolpile ja pilareille. Esimerkiksi sähkötolppia voidaan uudelleen käyttää sellaisenaan. Kyllästetty puu on ongelmallista, sillä se on luokiteltu ongelmajätteeksi siihen sitoutuneiden kyllästeaineiden takia, ja on usein varsin lyhyttä. (Pirhonen et al. 2011, s. 36)

2.2.2 Uusiokäyttö

Kierrätyspuun uusiokäyttö on rajallista pienen kysynnän vuoksi. Kysyntää rajoittaa purkupuun epätasalaatuisuus, sillä puussa on usein nauvoja, hiekkaa tai betonia. Puuta, joka on likaista ei voi hyödyntää sellaisenaan uusiotuotteiden valmistuksessa, sillä uusiotuotteen standardoinnin kannalta on vaikeaa saada tasalaatuisia lopputuotteita.

Tällä hetkellä Suomessa puukuituiset rakennuslevyt valmistetaan puuteollisuuden sivutuotteina syntyvästä sahanpurusta tai puumurskasta. Purkupuulla on kuitenkin oma potentiaalinsa puumuovikomposiiteissa tai rakennuslevyissä. Esimerkiksi Etelä-Euroopassa rakennuslevyt valmistetaan pääsääntöisesti kierrätyspuusta (Kojo & Lilja 2011, s. 73). Kierrätyspuuta voidaan hyödyntää esimerkiksi lastulevyn valmistuksessa, mutta valmistuksessa käytetään nykyisin lähinnä sahateollisuuden sivutuotevirtaa.

Puukuitulangat ja -levyt ovat olleet VTT:n tutkimuksen kohde (Rautkoski et al. 2015), jossa selvitettiin purkupuun soveltuvuutta kyseisten kuituvalmisteiden tuottamiseen. Tutkimuksessa tarkasteltiin eri jätetuulajikkeiden soveltuvuutta hiertämiseen ja kemialliseen kuiduttamiseen. Lopputulemana tutkimuksessa oli, että kuitulankaa ja vaahtoarkkeja on mahdollista valmistaa jätetuusta, eivätkä kemialliset epäpuhtaudet vaikuttaneet negatiivisesti kuitujen sitoutumiseen toisiinsa. Huomionarvoista tässä tutkimuksessa oli se, että mikäli jätetu murskattaisiin pienempiin partikkeleihin, niin mekaaniset epäpuhtaudet irtoaisivat paremmin materiaalista ja murskatun puun hyödyntäminen olisi käytännöllisempää muuhunkin uusiokäyttöön. Kestopuun osalta todettiin, että kierrätys tähän käyttöön on mahdollista, mutta vaatii paljon lupia ja turvallisuustoimenpiteitä.

Puumuovikomposiitissa on nimensä mukaisesti puun ja muovin yhdiste näiden suhteellisten osuuksien vaihdella 10–80 prosentissa. Puumuovikomposiitteja käytetään pääsääntöisesti terassilautana, mutta siitä voidaan käyttää myös autoteollisuudessa ja eri-

laisissa paneeleissa. Puumuovikomposiitin valmistukseen voidaan hyödyntää kierrätysmateriaaleja ja elinkaaren päätteeksi se voidaan polttaa muun puujätteen tavoin. Komposiitti ei sisällä myrkkijä, eikä sitä tarvitse pintakäsitellä kuten painekyllästettyä terasilautaa. Hyviä ominaisuuksia ovat myös pitkä käyttöikä, hyvä sään- ja värinkesto-ominaisuudet ja rakenne, joka ei pölise sahatessa. (Myller 2015, s. 27) Puumuovikomposiitit ovat tavallaan ongelmallisia materiaaleja, sillä tuotetta ei voi uusiokäyttää sen alkuperäisen käyttökohteen elinkaaren päätteeksi, koska muovia ja puuta ei saa enää eroteltua toisistaan, siksi nämä komposiitit päätyvät poltettavaksi.

Purkujätteestä valmistettuja puumuovikomposiitteja on markkinoilla hyvin vähän eikä niistä ole tehty merkittävästi tutkimusta. Yksi kotimainen innovaatio on komposiittipihakivet, joihin hyödynnetään purkujätettä. Valmistuksen raaka-aineeksi käy rakennuspuumateriaalit, luonnonkiviaines, sementti ja vesi. Komposiittipihakiville luvataan lukuisia väri vaihtoehtoja, betonia kevyempi rakenne ja hyvät ominaisuudet muokkaamisen kannalta. (Myller 2015, s. 27–28)

Tällä hetkellä puulle ei ole olemassa kierrätyskonseptia, jolla puun alkuperäiset ominaisuudet ja käyttökohteet pysyisivät yhtä hyvinä tai tuote olisi parempi kuin alkuperäinen puu. Tätä ominaisuutta kutsutaan uusiomateriaalien kohdalla niin sanotuksi downcyclin-giksi, jossa kierrätetään alkuperäistä tuotetta vähempiarvoiseksi. (Manninen et al. 2015, s. 10)

2.2.3 Muu hyödyntäminen

Pohjoisessa lämmityskausien ollessa pitkiä on päädytty purkupuun osalta sen polttamiseen. Polttamisella saadaan suurin yhteiskunnallinen hyöty teknistaloudellisesti (Pirhonen et al. 2011, s. 60). Puun poltolla voidaan korvata fossiilisia polttoaineita sekä vähentää jätteen päätymistä kaatopaikoille.

Polttoon kelpaa lähes kaikki puumateriaali. Rakennustyömailta peräisin oleva likainen puu, joka sisältää hiekkaa, nauvoja ja betonia voidaan hakettaa, eikä pieni määrä epäpuhtauksia haittaa. Vanerit ja lastulevyt voidaan hakettaa, mutta näiden sisältämät liimat aiheuttavat suurina pitoisuuksina ongelmia, jotka ilmenevät kuonaantumisenä. Purku-puussa on usein myös maalia. Maalatun puun osalta menetellään samoin kuin vanerien osalta, se murskataan ja sekoitetaan puhtaampaan puuhakkeeseen. Kestopuu luokitellaan ongelmajätteeksi, mutta sekin voidaan polttaa, jos polttolaitos on varustettu savukaasunpuhdistimilla. Kestopuu myös murskataan ja sekoitetaan puhtaamman puun sekaan. (RIL 216-2013, s. 213–214)

Puusta on mahdollista valmistaa myös bioetanolia. Biopolttoaineilla pystytään korvaamaan fossiilisten polttoaineiden käyttöä liikenteessä ja siten vähentää liikenteen ympäristövaikutuksia sekä öljyriippuvuutta. Bioetanolilla voidaan vähentää perinteisen bensiinikäyttöisen auton fossiilisia päästöjä jopa 80 %. Yksinkertaistetusti bioetanolin valmistus perustuu selluloosan ja hemiselluloosan sokereiden vapauttamiseen lämmön, paineen ja entsyymien avulla. Käyminen aikaansaadaan hiivalla ja lopuksi käymisliemestä tislataan etanoli talteen. Tislatus etanoliliuoksen pitoisuus on 90 % ja loppuväkevöinnillä aikaansaadaan 100 % etanolia. Bioetanolia valmistaa Suomessa St1 Biofuels Oy. Etanolitehdas sijaitsee Kajaanissa teollisuusalueella ja saa viereiseltä sahalta sahanpurut raaka-aineekseen. (Biotalous 2014, Niskanen & Karjalainen 2014)

2.3 Teräs

Teräkseksi luokitellaan rautametallit, joiden hiilipitoisuus alittaa 1,7 % ja jotka ovat näin ollen valssattavia ja taottavia. Teräs sisältää myös seosaineita, joilla pyritään parantamaan teräksen ominaisuuksia, esimerkiksi korroosionkestävyyttä ja mekaanisia ominaisuuksia. Seosaineista yleisimmät ovat pii, mangaani ja alumiini.

Teräksen raaka-aineet ovat uusiutumattomia ja malmin kaivaminen rasittaa ympäristöä päästöjen ja maisemahaittojen muodossa. Lisäksi teräksen valmistaminen rautamalmin valmistusta kuluttaa paljon energiaa masuuniprosessin vuoksi. Rautamalmin valmistusprosessi tuottaa myös merkittäviä määriä hiilidioksidipäästöjä, sillä raudan pelkistys toteutetaan nykyisillä tekniikoilla hiilenpoltolla. Teräkset ovat helposti kierrätettävää ja romumetallien kierrätys onkin varsin yleistä. Suomessa vain 20–30 % teräksen raaka-aineesta on romumetallia, mutta esimerkiksi Yhdysvalloissa teräs valmistetaan pääasiassa kierrätysmetalleista. Kierrätysmetallin käyttö on valmistuksen kannalta energiatehokkain teräksen valmistustapa, mutta kuluttaa siitä huolimatta paljon sähköä valokaariuuniprosessissa. Prosessin sähköntuottotavalla pystytään vaikuttamaan prosessista aiheutuviin päästöihin. (SSAB 2019) Terästä käytetään pääasiassa teollisuus- ja toimistorakentamisessa runkorakenteena. Teräksestä valmistetut rungot ovat esivalmistettuja pilari-palkkisysteemejä.

2.3.1 Uudelleenkäyttö

Teräsrakenteet soveltuvat hyvin uudelleenkäytettäväksi, sillä rakenteet ovat usein valmistettu pulttiliitoksien. Uudelleenkäyttöä helpottaa myös, jos korroosioikäsitteily on toteutettu siten, että se on mahdollista uusien tai parantaa (RIL 216-2013). Etenkin teräsrakenteisia halleja voidaan purkaa ja pystyttää uudelleen toisessa paikassa. Rakenteista palkit ja pilarit voidaan hyödyntää sellaisinaan tai niihin voidaan tehdä muutoksia esimerkiksi

pituuden muuttamisella ja hitsaamalla uusia kiinnikelaippoja. Aiempia pulttiliitoksia pystytään muokkaamaan ja liitoksen voi tarvittaessa korvata täysin myös hitsaamalla. Kattoristikot ovat pääsääntöisesti uudelleenkäytettäviä, jos niihin ei ole tullut taipumia tai ruostumia, jotka heikentäisivät niiden kantavuutta. Lisäksi teräsrakenteiden uudelleenkäytämisessä tulee huomioida purkuvaiheessa sopiva varovaisuus, ettei teräsprofiiliin tule muutoksia. (RIL 216-2013) Esimerkiksi IPE- tai HEA- palkin lommahdus tai kiertymä pienentää profiilin taivutusjäyhyyttä ja alentaa näin ollen palkin kantokykyä. Uudelleenkäytön kannalta tulee huomioida aiempaan rakenteeseen vaikuttanut säärasitus tai kosteus, joka on voinut aiheuttaa rakenteeseen korroosiota. On myös tarkistettava, että onko aiempi rakenne mahdollisesti altistunut tulipalon lämpörasituksille.

2.3.2 Uusiokäyttö

Teräs on erinomainen materiaali kierrätettävyyden kannalta, sillä sen ominaisuudet eivät heikkene kierrätysprosessin aikana, vaikka kierrätysyyskylejä olisi useampia. Tämän ansiosta teräksen kierrätys on teoriassa mahdollista loputtomasti, mutta käytännössä pieni osa teräksistä joutuu aina hävikiksi.

Teräkset kerätään talteen niille tarkoitetuille lavoille kuten muukin jäte. Romumetallit vietään teräksen valmistustehtaille, jossa teräkset ja romumetallit sulatetaan ja käsitellään siten, miten lopputuotteilta vaaditaan. Kaikki rakentamisessa käytettävät metallit voidaan uusiokäyttää uusien terästen valmistuksessa. Kierrätysteräksen valmistusprosessissa romumetalli sulatetaan valokaariuunissa. Prosessi vaatii paljon sähköä, mutta hiilidioksidipäästöt ovat huomattavasti pienemmät kuin masuuniprosessissa (SSAB 2019).

2.4 Eristeet

Nyky aikaisten rakennusten eristeinä toimivat mineraalieristeet, puukuituvillat, muovieristeet, kevytsora ja joissain tapauksissa vaahtolasi. Aiemmin eristeinä käytettiin luonnosta löytyviä materiaaleja, kuten sammalta, sahanpurua ja turvetta (Huuhka 2010, s. 86).

Eristeillä on tärkeä rooli rakennuksen energiatehokkuuden, ääneneristävyyden ja rakenteiden rakennusfysikaalisen toimivuuden kannalta. Eristeiden toiminta perustuu eristeen kykyyn sitoa ilmaa omaan huokosrakenteeseensa, sillä staattisella ilmalla on huono lämmönjohtokyky. Kaikilla eristeillä toimintaperiaate on sama, mutta käyttökohteet vaihtelevat laajalti. Eristeiden lämmönjohtavuutta kuvataan lambda-arvoilla.

2.4.1 Mineraalieristeet

Suomessa syntyy vuosittain 20 000 tonnia mineraalivillajätettä. Määrä on jätteen kierrätettävyyden kannalta merkittävä yhteiskunnallinen ongelma. (Hirvijoki 2018) Mineraalivillojen valmistuksessa käytetään runsaasti energiaa ja prosessissa syntyy liimajätettä. Mineraalivillojen sideaineena käytetään kertamuovivalmistetta. Kotimaisen lasivillan valmistuksessa käytetään 80 % kierrätyslasia, joka on pääsääntöisesti peräisin kierrätetyistä tasolaseista ja kuluttajien palauttamista lasipulloista. Prosessissa lasi sulatetaan ja kuidutetaan, jolloin sitä voidaan hyödyntää villan raaka-aineena. Kivivillan valmistus tapahtuu vulkaanisen kiven sulattamisesta ja sulan kiven kuiduttamisesta. Prosesseissa sulatusuunien lämpötilat nousevat lasivillan kohdalla 1 400 °C ja kivivillan kohdalla 1 500 °C. (Isover 2019 & Paroc)

Erististä lasivillaa käytetään pääsääntöisesti kevyissä väliseinissä, ulkoseinissä, välipohjissa ja yläpohjaeristeinä. Lasivillan etuna on keveys lambda-arvoon nähden ja sen voi tyhjiopakata kivivillaa tiiviimpään tilaan. Kivivillan valmistuslämpötilan ollessa hieman korkeampi kuin lasivillalla, kestää kivivilla hieman paremmin lämpöä. Kivivillan käyttöä suositellaankin tulisijojen ja savuhormien yhteyteen. Molemmat villat ovat kuitenkin luokiteltu A1-paloluokkaan, joten molempien eristeiden palonkestävyys on 60 minuuttia, kun ne ovat asennettuina tavallisen seinän sisään suoralta paloaltistukselta suojattuna. (Knaufinsulation 2015.)

Mineraalivillojen uudelleenkäyttöä edistää betonielementtien uudelleenkäyttö, sillä tällöin elementtien välissä olevat eristeet toimivat myös uudessa kohteessa ja purkujätettä ei synny (Huuhka 2010). Mineraalivillojen uusiokäyttö on mahdollista. Tällöin puretusta rakenteesta kerätyt villat otetaan talteen, puhdistetaan, revitään ja puhalletaan esimerkiksi yläpohjaan eristeeksi. Tekniikan on Suomessa kehittänyt Eko-Expert Oy. (Eko-Expert)

Tuore uusiokäyttömenetelmä on kuivabetoni, jonka valmistuksen raaka-aineena on käytetty mineraalivillajätettä. Valmistuksen raaka-aineena toimii siis mineraalivillajäte ja jokin alkaliaktivaattori, esimerkiksi natriumhydroksidi ja natriumsilikaatti. Prosessissa mineraalivillajäte jauhetaan hyvin pieneksi jauheeksi (raekoko 8–20 µm) kuulamyllyllä, jonka jälkeen jauhe laitetaan reagoimaan aktivaattoriliuoksen kanssa. Lopputuotteena syntyy kovettunut geopolymeeri. Alkaliaktivoituja materiaaleja kutsutaan epäorgaanisiksi polymeereiksi ja geopolymeereiksi. (Hirvijoki 2018)

Geopolymeerien lähtöaineilla on mahdollista korvata sementti rakennusmateriaaleissa, ja tällä voidaan vaikuttaa merkittävästi betonin valmistuksen hiilidioksidipäästöihin. Pienempien hiilidioksidipäästöjen lisäksi geopolymeereillä on yhtä hyviä tai jopa parempia mekaanisia ominaisuuksia kuin tavallisesta Portland-sementistä valmistetuilla betoneilla.

Geopolymeereillä voi saavuttaa 60–70Mpa:n puristuslujuuksia. (Hirvijoki 2018) Mineraalivillajätettä ei ole niin paljon saatavilla, että pelkästään siitä pystyisi valmistamaan betonia ja korvamaan perinteisen sementin, mutta mineraalivillojen vaikean kierrätettävyyden takia tulee kierrätysbetonin valmistusta tutkia lisää.

Mineraalivillajätteestä valmistettuja kuituja pystytään hyödyntämään myös puumuovikomposiiteissa, joissa se parantaa komposiitin kosteudenkestoa. Myös komposiittien iskunkestävyyttä saadaan parannettua. (Väntsi 2015, s. 51,76)

2.4.2 Muovieristeet

Muovieristeitä ovat polystyreenistä eli solumuovista valmistetut XPS- ja EPS-levyt. EPS (styrokso) on pienistä vaahtohelmistä puristettu levy ja XPS on suulakepuristettua polystyreeniä.

XPS on EPS:ää tiheämpää ja kestävämpää materiaalia ja käyttökohteet ovat laajemmat, sillä solurakenne on ilmatiivis. Ilmatiiviin solurakenteen ansiosta XPS-eristetyt rakenteet eivät tarvitse erillistä höyrynsulkua. XPS-levyt valmistetaan polystyreenijauheesta ja hiilidioksidista. Valmistusprosessissa korkeassa paineessa sulaan polystyreeniin liuotetaan hiilidioksidia ja hiilidioksidi kaasuuntuu luoden samalla soluja eristeeseen. Myöhemmin nämä solut täyttyvät ilmalla hiilidioksidin vapautuessa. (Finnfoam Oy) EPS-levyn valmistus tapahtuu ensiksi laajentamalla polystyreenihelmiä. Tämän jälkeen huokoiset laajentuneet helmet suulakepuristetaan haluttuun lopputuotteen muotoon.

Polystyreenieristeet voidaan uudelleenkäyttää sellaisinaan, jos ne säilyvät ehjinä. XPS-levyjen paremman lujuuden ansiosta ne voi olla helpompi saada ehjänä purettua. Polystyreeni on kestonuovi ja sen voi kierrättää täysin uusien eristeiden tai pakkausten raaka-aineeksi (Finnfoam Oy).

2.4.3 Puukuitueristeet

Puukuitueristeet valmistetaan kierrätyskuidusta, jota saadaan sanomalehdistä ja kierrätyspaperista. Eristeen voi kierrättää uudelleenkäytettäväksi samaan käyttötarkoitukseen. Puun kasvuvaiheessa siihen sitoutunut hiili jää eristeeseen ja valmistusprosessin ollessa vähän energiaa kuluttavaa, on tällöin myös lopputuote hyvin ekologinen. Käyttöikänsä lopuksi puukuitueriste voidaan käyttää energiantuotantoon muun polttoaineen mukana tai sitä voidaan hyödyntää maanparannusaineena. (Ekovilla Oy)

Puukuitueristeitä on saatavilla puhallettavana selluvillana tai levyinä, joiden yksi tuotenimi on Ekovilla. Selluvillaa käytetään usein yläpohjissa, sillä puhallusvillan asennuksen helppous ja nopeus voittaa levyasennukset. Selluvilla voidaan imeä talteen ja käyttää

uudelleen toisessa kohteessa. Selluvillaan lisätty boori estää homeitiöiden kasvamisen materiaalissa ja parantaa palonsuojaominaisuuksia. Boorin takia selluvillaa ei saa polttaa eikä kompostoida sellaisenaan. Kun selluvillaa laimennetaan muuhun maanparannusaineeseen niin ongelmia ei pitäisi ilmetä. Kuitenkin jos booripitoisuus maaperässä on liian suuri, niin kasvit eivät juurru maahan kunnolla. (Huuhka 2010, s. 88–89)

2.5 Tiili

Tiili on varsin pitkään käytössä ollut luonnonmukainen rakennusmateriaali. Tavallisen poltetun tiilen pääraaka-aineena toimii savi. Savi on uusiutumaton, mutta sitä on runsaasti saatavilla. Savitiilen polttoprosessi kuluttaa runsaasti energiaa polttolämpötilan ollessa noin 1 000 °C. Poltetun savitiilen lisäksi on olemassa kalkkiahiekkatiili (Kahi), jonka pääraaka-aineet ovat poltettu kalkki, kvartsipitoinen hiekka ja vesi. Kalkkiahiekkatiiltä ei polteta, vaan se puristetaan muotoonsa ja karkaistaan paineistetulla vesihöyryllä 160–200 °C lämpötilassa (RT 38406 2013). Kalkkiahiekkakiven valmistus onkin energiankulutuksen kannalta edullisempaa.

Tiilien hyviin ominaisuuksiin kuuluu sen mekaaninen kestävyys, lämpöominaisuudet, palamattomuus, huoltovapaus, luonnonmukaisuus ja suhteellisen korkea puristuslujuudenkesto, jopa 50 MPa (RT 38096 2011). Ennen tiilirakenteet olivat kantavia tiilimuureja, mutta nykyisin tiilillä tehdään pääasiassa vain ulkoverhouksia (kuorimuureja). Kantavat rakenteet tiiliverhotuissa rakennuksissa voi olla puuta, betonia tai muilla harkkoratkaisuilla, kuten kevytsoraharkkoilla toteutettuja runkoja, jotka käyttäytyvät uudelleenkäytettävyyden kannalta samoin kuin tiili. (Huuhka 2010)

2.5.1 Uudelleenkäyttö

Tiiliä voidaan uudelleenkäyttää sellaisenaan tai ne voidaan puhdistaa ennen uudelleenuurausta. Tiilien purkaminen voidaan tehdä koneellisesti. Jos muuraus on tehty kalkkilaastilla, niin puhdistus onnistuu helposti upottamalla tiilet veteen, jolloin laasti liukenee pehmeäksi massaksi. Sementtilaastin puhdistus on vaikeampaa, eikä Suomessa ole tekniikkaa, jolla tiilet saataisiin puhdistettua tehokkaasti ja automatisoidusti. Tiilien uudelleenkäyttö rakennuskohteissa onkin verrattain vähäistä puhdistuksen vaatiman käsityöpainotteisuuden takia. Usein vanhojen tiilirakennusten purusta saatava tiili on arvokasta etenkin korjausrakennuskäytössä, sillä vanhoja tiiliä on vähän saatavilla.

Tiilin uudelleenkäyttöön erikoistunut tanskalainen yritys Gamle Mursten on kehittänyt laitteen, joka puhdistaa puretuista tiilistä laastijäämät ja muut epäpuhtaudet tärymenetelmällä. Yhden tiilen uudelleenkäyttö säästää hiilidioksidipäästöjä 500 grammaa. Yksi tiilivalmisteinen omakotitalo vaatii noin 16 000 tiiltä, joten kierrätetyillä tiilillä säästettäisiin 8 tonnia hiilidioksidipäästöissä verrattuna uuden tiilin valmistukseen. Yrityksen mukaan Tanskassa pystyttäisiin käyttämään vuosittain 30 miljoonaa tiiltä uudelleen. Yritys on osana Euroopan unionin REBRICK-hanketta ja pyrkii laajentamaan toimintaansa koko Euroopan talousalueelle. (Gamle Mursten 2019)

2.5.2 Uusiokäyttö

Puretut tiilet voidaan kerätä joko erikseen tai betonijätteen sekaan. Jos tiilet kerätään erikseen ja murskataan, saadaan värivakioitua tiilimurskaa, jota voidaan hyödyntää esimerkiksi tenniskenttien pintamateriaalina. Jos tiilet kerätään betonijätteen sekaan, tällöin murskaa voi hyödyntää maarakentamisessa. Betonimurskan sekaan voidaan sekoittaa maksimissaan 10–30 painoprosenttia tiilimurskaa, jolloin yhdistemurskaa voidaan hyödyntää jakavissa rakennekerroksissa (Rudus 2017).

2.6 Lasi

Lasin valmistuksen pääraaka-aineet ovat hiekka, kalkki ja sooda. Lasin valmistuksessa lasimassaan voidaan lisätä myös sulaa kierrätyslasia. Nykyisin tasolasit valmistetaan float-menetelmällä. Prosessissa sulan lasimassan lämpötila on noin 1 000 °C ja lämpötilan saavuttaminen vaatii paljon energiaa. Mikäli kierrätyslasin määrää lisätään, prosessi kuluttaa vähemmän energiaa. Kierrätyslasista voidaan valmistaa uudelleen pakkauslaseja ja tasolaseja ilman, että laatu kärsii. (Pilkington 2019)

Nykyinen rakentaminen ja teknologian kehittyminen ovat mahdollistaneet lasituotteille erilaisia ja uusia käyttökohteita. Nykyisin lasista valmistetaan auringonsuojalaseja, älylaseja, palonsuojalaseja, ääneneristyslaseja ja niin edelleen. Uudet lasituotteet ovat tuoneet haasteita näiden lasien kierrätykselle ja esimerkiksi palonsuojalasin kierrätys muun lasimurskan seassa voi olla haastavaa. Nykyisillä kierrätysmenetelmillä pystytään hyödyntämään eristelasi-elementit ja karkaistut lasit uusien lasituotteiden valmistuksessa. (Uusioaines Oy a)

2.6.1 Uudelleenkäyttö

Usein rakennuksista puretaan ikkunalasit karmeineen ja lasit pysyvät ehjinä. Lasien uudelleenkäyttö sellaisenaan voisi olla mahdollista, mutta ongelmaksi muodostuvat tiukentuneet ja edelleen tiukentuvat energiamääräykset, joiden vuoksi vanhoja purettuja ikkunoita ei juurikaan saada hyödynnettyä uusiin kohteisiin. Vanhoissa ikkunoissa tiiveys ja rakenne eivät vastaa enää nykypäivän vaatimuksia ja vanhat ikkunat ovatkin usein merkittäviä asuntojen energiankulutuksen lisääjiä. Käyttökohteiksi voi kuitenkin miettiä pienessä mittakaavassa lasien uudelleenkäyttöä rakenteissa, joissa lämmöneristysominaisuuksia ei vaadita. Esimerkkinä voisi toimia mökki, jota käytetään vain kesäisin.

Lasista on valmistettu myös lasitiiliä, jotka voi uudelleenkäyttää, jos ne saadaan purettua ehjänä. Lasitiilien purkaminen ja puhdistaminen vaativat varovaista käsittelyä. Puhdistamista helpottaa, jos laasti on ollut lujuudeltaan alhaista ja helposti irtoavaa.

2.6.2 Uusiokäyttö

Lasilla on uusiokäytön kannalta useita vaihtoehtoja. Kierrätyslasia voidaan käyttää uuden lasin valmistukseen, lasivillaan tai vaahtolasiin. Ikkunalaseista irrotetaan kehykset ja ne kierrätetään asiallisesti kullekin materiaalille ominaiseen tapaan. Puukehykset päätyvät puunkierrätykseen eli yleensä poltettavaksi, kun taas alumiiniset metallikehykset metallinkierrätykseen ja uuden alumiinin raaka-aineeksi. Itse ikkunalasi päätyy lasinkierrätyskeskuksille. Ikkunalasit murskataan ja sulatetaan, jolloin käyttökohteita voi olla useita. Lasivillan valmistusta käsiteltiin jo aiemmin kappaleessa 2.4.1.

Vaahtolasi on puhdistetusta kierrätyslasimurskasta valmistettua kevennys- tai eristysmateriaalia. Valmistuksessa kierrätyslasi murskataan ja puhdistetaan, jonka jälkeen puhdistettu lasirae jauhetaan hienoksi. Kierrätyslasijauheeseen lisätään vaahtotusagentteja. Tämän jälkeen seos ajetaan 900 °C uunin läpi, jossa se turpoaa vaahtolasiksi. Jäähdyessään vaahtolasi alkaa halkeilla ja saavuttaa murskemaisen muotonsa. Vaahtolasi on keveytensä ansiosta houkutteleva vaihtoehto logistisesti, sillä vaahtolasimurske painaa vain viidesosan kivimurskeeseen verrattuna. Keveyden ansiosta vaahtolasia voidaan toimittaa työmaalle jopa seitsemän kertainen määrä verrattuna sorakuormaan yhdellä rekallisella ja siten kuljetusten määrä ja siihen kuluva polttoaineenkulutus pienenee merkittävästi. Vaahtolasi on lisäksi ympäristöystävällinen tuote, eikä siitä liukene maaperään mitään haitallisia aineita. Vaahtolasi on palamaton, kestävä ja uudelleen käytettävissä oleva materiaali. Vaahtolasi soveltuu talo- ja infrarakentamiseen lähes kaikkiin käyttökohteisiin alapohjista yläpohjiin ja piharakentamisesta tie- ja katurakenteisiin. Vaahtolasimurskeella on myös CE-merkintä. (Uusioaines Oy b)

2.7 Kipsilevyt

Kipsilevyt ovat kipsistä ja kartongista valmistettuja rakennuslevyjä. Kipsilevy on yleisrakennuslevy, jota käytetään lattioissa, seinissä ja katoissa. Kipsilevyn hyviä ominaisuuksia ovat sen helppo työstettävyys, ääneneristyskyky ja palonsuojaus. Kipsilevyseinistä saadaan oikein asennettuina helposti saumattomia. Levyn paloneristyskyky perustuu kipsiin sitoutuneen kideveden höyrystymiseen, mikä sitoo energiaa (Knauf 2017). Kipsilevyjä voidaan asentaa päällekkäin, jolloin seinän äänen- ja paloneristyskyvyt paranevat.

Kipsilevyjen valmistusprosessissa käytetään pääraaka-aineena tuontikipsiä, joka toimitetaan usein Etelä-Euroopasta. Lisäksi raaka-aineena käytetään työmailta kierrätettyä kipsilevyä sekä teollisuuskipsiä, joka syntyy voimalaitosten savukaasujen puhdistuksen sivutuotteena. Valmistuksessa kipsimassa pursotetaan kahden kartongin väliin ja puristetaan haluttuun paksuuteen. Kartonki valmistetaan jätekartongista ja puukuidusta. (Gyproc 2008)

2.7.1 Uudelleenkäyttö

Kipsilevyjä voidaan uudelleenkäyttää, mikäli ne saadaan ehjänä purettua. Ehjänä purkamisen ei kuitenkaan lähes koskaan onnistu, sillä kipsilevy on hauras materiaali. Asennuksessa levyt ruuvataan runkoon 10–15 cm välein, ruuvien kannat kitataan ja pinta maalataan tämän jälkeen. Purkamisen yhteydessä tulisi siis ensin poistaa maali ja kitit ruuvien kannoista ja tämän jälkeen ruuvata kiinnikkeet yksitellen pois. Tähän ei kuitenkaan ole työmailloja resursseja ja purkamisen tapahtuukin usein enemmän perinteisin menetelmin nopeasti ja vaivattomasti purkuraudoilla sekä vasaroilla.

Kipsilevyjen kierrätyksen kannalta uusiokäyttö on usein paras vaihtoehto, sillä uudelleenkäyttö on edellä mainittujen syiden vuoksi vaikeasti toteutettavaa, jos ei mahdotonta. Vaikka levyn saisi ehjästi purettua jäisi siihen vielä vanhat ruuvireiät. Kipsilevyjen kierrätyksen kannalta uusiokäyttö on paras vaihtoehto.

2.7.2 Uusiokäyttö

Kipsilevyt on teknisesti mahdollista nykyisin kierrättää uusien kipsilevyjen valmistusmateriaaliksi lähes kokonaan. Ongelmia aiheutuu kipsilevyjätteen keräysjärjestelmästä, sillä se ei ole riittävän tehokas ja kattava. Etenkin purkutyömailloja, voi olla taloudellisempaa laittaa joissain tapauksissa kipsilevyjäte sekajätelavalle, jos kipsilevyä on vähän suhteessa muuhun jätteeseen. Tällöin kipsilevyä ei saada kierrätetyksi. Puutteellisen keräysjärjestelmän vuoksi suuri osa kipsilevyjätteestä päättyykin kaatopaikoille tai polttoon. Kaatopaikoilla kipsilevyt aiheuttavat hajuhaittoja, jos kipsi pääsee reagoimaan biojätteen

kanssa. Näiden reaktiosta syntyy rikkivetyä, mitkä aiheuttavat voimakkaita hajuja jo pienistäkin pitoisuuksista. Kipsijätettä poltettaessa syntyy pääasiassa tuhkaa, joten kipsi ei sovellu poltettavaksi energiajätteeksi. (Mäki-Petäjä & Ekholm 2015)

Keräämällä kipsilevyjäte kootusti työmailta, se voidaan siirrettävällä jauhinkoneella jauhaa uuden kipsilevyn raaka-aineeksi. Kipsilevyn ei tarvitse olla täysin puhdasta ja pieniä epäpuhtauksia saa esiintyä, kuten seinäpinnoitteita, maalia, tapetteja ja ruuveja. (Gypsum Recycling) Kipsilevyistä irtoava kartonki hyödynnetään energiaksi polttamalla. Siirrettävän jauhinkoneen on kehittänyt Gypsum Recycling International.

3. RAKENTAMISEN UUSIOTUOTTEET

Vuonna 2013 voimaan tullen lain mukaan kaikilla rakennustuotteilla tulee olla CE-merkintä, jos tuotteelle on olemassa harmonisoitu tuotestandardi. Rakennustuotteita ovat kaikki kiinteäksi tarkoitetut tuotteet, kuten betonielementit tai rakennesahatavara. Lain tavoitteena oli saada rakennustuotteista vertailukelpoista ja luotettavaa tietoa, sekä edistää rakennustuotteiden myyntiä kotimaisilla ja eurooppalaisilla markkinoilla.

CE-merkintä perustuu harmonisoituun tuotestandardiin (hEN) tai eurooppalaiseen tekniseen arviointiin (ETA). CE-merkintä on todistus siitä, että kyseisellä rakennustuotteella on laadunhallintajärjestelmä ja tuotteen ominaisuuksia on testattu. (Koivisto et al. 2016) Uusio- ja uudelleenkäytön kannalta CE-merkinnän saaminen voi olla ongelmallista ja siten näitä tuotteita voi olla vaikea saada markkinoille.

3.1 Haasteet

Kuten jo aiemmin on todettu, purkumateriaaleja on vaikea saada tehokkaaseen hyötykäyttöön. Lisäksi uusiotuotteita kohtaan on yleisiä ennakkoluuloja ja asenteita. Uusiotuotteiden laatuun ei luoteta ja siitä ajatellaan tulevan terveystarpeita tuotteita käsitteleville työntekijöille. Näistä syistä kysyntää uusiotuotteille ei ole, mikä puolestaan hidastaa uusien tuotteiden kehittämistä ja tarjontaa. (Euroopan komissio 2016) Ongelmaa uusiotuotteiden kohdalla kasvattaa neitseellisistä raaka-aineesta valmistettujen tuotteiden hyvä saatavuus ja neitseellisten tuotteiden laadun tasaisuus.

Uusiomateriaalien käyttöä rajoittaa myös laki, sillä kuten muillakin rakennustuotteilla niin myös uusiomateriaaleista valmistetuilla rakennustuotteilla tulee olla CE-merkintä. CE-merkintä vaatii tuotteistamista ja rahaa, mikä on kysynnän puutteen vuoksi usein kannattamatonta. Ongelmaan on osittain löydetty ratkaisuja etenkin maanrakennustoiminnassa. Toisaalta CE-merkintää ei tarvitse tuotteilta, mitkä ovat muita kuin sarjavalmistettuja ja tuotteen valmistaja asentaa itse tuotteet rakennuskohteeseen (Ympäristöministeriö 2011).

3.2 Markkinoilla olevat uusiomateriaalituotteet

Kaikilla alla esitetyillä tuotteilla ei ole CE-hyväksyntää tai niitä ei ole valmistettu täysin uusiomateriaalista, mutta niiden valmistuksessa on keskitytty vähähiilisyyteen ja ympäristörasituksia on minimoitu tuotteiden valmistuksessa. Uusiomateriaalituotteita on vähän markkinoilla, ja olisi toivottavaa saada lisää uusiotuotteita rakennuskäyttöön.

3.2.1 Betoniset uusiokiviainekset

Betonimurske uusiokiviaineksena kuuluu harmonisoidun tuotestandardin soveltamisalaan, tällöin sillä kuuluu olla CE-merkintä. Suomessa ainakin Deleten Delekivellä ja Ruduksen Betorocilla on CE-merkintä.

Betoroc-murske on Ruduksen valmistamaa betonimursketta, jota käytetään luonnon maa- ja kiviaineksen tapaan. Seulomalla murskeesta saadaan haluttuun käyttötarkoitukseen oikearakeista materiaalia. Käyttökohteiksi sopii useimmat kohteet, joihin luonnon kiviainestakin voi käyttää lukuun ottamatta I-II -luokan pohjavesialueita ja veden alaisia rakenteita tai maarakenteita, jossa vesi voi liuottaa hienoainesta betonimurskeesta. Lisäksi Betoroc-murskeelle on muitakin säädöksiä, kuten sen käytöstä tulee ilmoittaa etukäteen ja kerrospaksuus tulee rajata 1.5 metriin. Betonimurskeen käyttö säästää luonnonkiviainesta ja joissain tapauksissa Betoroc-murskeen käytöllä saadaan aikaan kestävämpiä rakennekerroksia verrattuna luonnonkivimurskaan. (Rudus 2017)

3.2.2 Lasivilla ja muut eristeet

Lasivillan valmistuksessa käytetään keskimäärin 80 % kierrätyslasia. Isoverin tuotteilla on harmonisoidun tuotestandardin mukainen CE-merkintä. (Isover 2019) Vaikka lasivillan valmistusprosessi käyttää kierrätyslasia villan valmistukseen, tähän prosessiin kuluu paljon energiaa kierrätyslasimassan sulattamisessa.

Sederholm (2019) kokoaman diaesityksen perusteella löytyi myös Knaufin puhalluslasivilla ja Suomen Selluvilla-Eriste Oy:n Ekovilla, joilta molemmilta löytyy CE-merkintä (Knauf & Selluvilla 2019). Eristeiden uusio- ja uudelleenkäyttöön erikoistunut yritys Eko-Expert kierrättää myös talo- ja elementtitehtaiden villojen leikkuutähteet.

3.2.3 Teräs

Nykyisin teräksen valmistuksessa kierrätysteräs kattaa noin 30 % uuden teräksen tarpeesta, jolloin loput 70 % tulee valmistaa rautamalmista. SSAB:n tehtaissa Suomessa ja Ruotsissa terästä valmistetaan pääasiassa rautamalmipohjaisesti. Käytössä olevalla valmistusmenetelmällä ei ole mahdollista valmistaa terästä siten, ettei valmistuksesta syntyisi hiilidioksidipäästöjä. Tehtaiden prosessit ovat kuitenkin pitkälle jalostettuja ja teräksen valmistuksesta syntyvistä kaasuista ja hukkalämmöstä saadaan tuotettua sähköä ja kaukolämpöä. Lisäksi teräksen valmistuksessa syntyviä sivutuotevirtoja hyödynnetään tehokkaasti muualla teollisuudessa, esimerkiksi betonin valmistuksessa. (SSAB 2019)

SSAB:n Yhdysvaltain tehtaissa terästä valmistetaan ainoastaan kierrätysteräksestä. Prosessissa käytetään jonkin verran myös hiiltä ja maakaasua. Kierrätysteräksen sulattamiseen käytetään pääasiassa sähköä, joka on enimmäkseen tuotettu tuulivoimalla. Hiilidioksidipäästöt jäävät kierrätysteräksestä valmistamalla alle kymmenykseen verrattuna rautamalmipohjaiseen valmistustapaan ja ovat myös 66 % pienemmät verrattuna USA:n teräksentuotannon keskiarvoon vuonna 2014. (SSAB 2019)

SSAB:n, Vattenfall ja LKAB ovat kehittämässä täysin uutta teräksen valmistustapaa, jossa raudan pelkistämiseen käytetty hiili korvattaisiin vedyllä. Tällöin tehtaan piipusta ei tulisi hiilidioksidia vaan vesihöyryä. Menetelmää on tutkittu laboratorio-olosuhteissa, mutta teollisessa mittakaavassa on vielä omia haasteita. Uuden demolaitoksen on määrä aloittaa toimintansa vuonna 2025, ja uuden tuotantoprosessin pitäisi olla valmis vuoteen 2035 mennessä. Uudessa prosessissa vedyn tuotanto vaatii paljon sähköä, joten uudet tehtaat tulee sijoittaa maantieteellisesti siten, että puhdasta energiaa on saatavilla. Uusi tekniikka nostaa myös teräksen hintaa, mutta toisaalta päästöverotuksenkin on arveltu nousevan tulevaisuudessa. (Koistinen 2017) Teräksen valmistustapa ei vaikuta sen ominaisuuksiin, joten kierrätysterästä voidaan pitää täysin uusiomateriaalina.

3.2.4 Betonivalmisteet

Perinteisen betonin lisäksi on olemassa erilaisia betoniyhdisteitä, joissa korvataan joko sementtiä tai kiviainesta muilla tuotteilla. Sementtiä vähentämällä tai korvaamalla se esimerkiksi lentotuhkalla voidaan vaikuttaa betonikuution hiilijalanjälkeen. Myös osa kiviaineksesta voidaan korvata erilaisilla murskilla, kuten tiili-, lasi- tai betonimurskalla. Betonissa ei koskaan ole luonnonkiviainesta korvaavia uusiokiviaineita ilman erillistä tilausta, sementtiä sen sijaan voidaan korvata ilman erillistä tilausta. Lisäksi voidaan valmistaa niin sanottua kevytbetonia, jolloin kiviainesta korvataan paisutetulla savirakeella. Näiden lisäksi on olemassa hamppubetonia ja betonia, joka on valmistettu geopolymerejä hyödyntäen. Valmisbetoni ei vaadi CE-merkintää, mutta betonivalmisosat kuten elementit vaativat.

4. PURKUMATERIAALIEN HYÖDYNTÄMINEN ULKOMAILLA

Euroopan jätevirroista noin 30 % muodostuu rakennus- ja purkujätteestä. Rakennussektori on yksi Euroopan suurimmista teollisuusaloista. Rakennukset vaativat sähköä ja lämmitystä, mutta myös rakennusmateriaalit ovat energiasäilöintivälineitä. Rakennuksista aiheutuvat päästöt ovatkin yksi merkittävämpiä kasvihuonekaasujen aiheuttajia. Näiden seikkojen vuoksi Euroopassa kiertotalouteen panostetaan ja aihetta käsitellään vakavasti. Rakennussektorilla on potentiaalia kehittää tehokkaampia keinoja materiaalitehokkuuden, kiertotalouden ja kierrätyksen kasvattamiseen. Näillä keinoilla voidaan vaikuttaa ympäristön kestävyys- ja hyvinvointiin. EU on tärkeä elin, jonka päätöksenteolla voidaan määrittää reunaehdot kaikkien Euroopan maiden toimintaan. EU:n direktiiveillä pyritään vaikuttamaan maakohtaiseen lainsäädäntöön ja näin yhdessä asetettujen tavoitteiden saavuttamisesta pitäisi tulla helpompaa.

EU:lla on samanaikaisesti käynnissä useita kehityshankkeita, joilla purkujätteen kierrätystä pyritään tehostamaan. Hankkeissa on usein useampia maita ja kyseisten maiden tutkimuslaitoksia mukana. Tällöin huipputasoa voidaan jakaa kärkimaiden kesken ja kehityksestä perässä olevat maat voivat omaksua jo toimivia toimintatapoja muilta.

4.1 Kehityshankkeet Euroopassa

Eräs kehityshankkeista on EU:n rakennus- ja purkujätteen käsittely- ja kierrätysmalli (2016), jonka tavoitteena parantaa luottamusta rakennus- ja purkujätteen kierrätysprosessiin sekä prosessista syntyvien tuotteiden laatuun. Tavoitteen saavuttamiseksi on käytetty viisiportaista lähestymistapaa. Mallissa pyritään parantamaan jätteen syntyypaikalla tapahtuvaa lajittelua, jätteiden logistiikkaa, uudelleenkäyttö-, kierrätys- ja talteenottoa, laadunhallintaa sekä poliittisia ja oikeudellisia puitteita. Poliittisilla ja oikeudellisilla puitteilla pyritään ohjaamaan toimintaa kestävässä suuntaan erilaisten säädösten ja rajoitusten avulla, sekä tuomaan kierrätystuotteita lähemmäksi käyttäjiä. Malli kattaa maantieteellisesti 28 jäsenvaltiota sekä kaikki käsittelyn osa-alueet rakennus- ja purkujätteen osalta lukuun ottamatta jätteiden syntymisen ehkäisyä. (Euroopan komissio 2016)

Ympäristöstä huolehtiminen on vientituote, jolla pystytään vaikuttamaan lokaalisti ja globaalisti ympäristön hyvinvointiin. Toimet, joita Euroopassa suoritetaan kiertotalouden

edistämiseksi, voidaan kopioida ulkomaille alhaisemman osaamistason maihin ja erityisesti maihin, joissa kierrätystoimet ovat toteutukseltaan yleistä Euroopan tasoa jäljessä. Isoilla talousalueilla, kuten Kiinassa ja Yhdysvalloissa rakennusjätettä syntyy suuria määriä ja olisi kaikkien edun mukaista, että näitä jätevirtoja pystyttäisiin hyödyntämään mahdollisimman tehokkaasti.

4.1.1 Horisontti 2020

Horisontti 2020 -ohjelma on EU:n kehittämisohjelma vuosille 2014–2020. Ohjelma tarjoaa rahoitusta kansainvälisille tutkimus- ja innovaatiohankkeille yhteensä noin 80 miljardia euroa. Tavoitteena on etsiä ratkaisuja suuriin yhteiskunnallisiin haasteisiin Euroopassa, tukea uusia innovaatioiden ja tekniikoiden kehittymistä sekä luoda Eurooppaan kasvua ja uusia työpaikkoja. (European commission)

Seuraavissa alaluvuissa on esitelty merkittäviä Horisontti 2020 alaisia kehityshankkeita, joissa keskitytään rakennus- ja purkujätteen tehokkaampaan hyödyntämiseen. Hankkeiden teemat keskittyvät kiertotalouteen ja vähähiilisyyteen, sekä innovointiin että nykyisten käytäntöjen tehostamiseen.

4.1.2 BAMB ja HISER

BAMB – buildings as material banks -hankkeessa on mukana seitsemän Euroopan jäsenvaltiota ja 15 kumppania. Jäsenillä on yhteinen tavoite saada rakennussektori toimimaan kiertotalouden mukaisesti, sillä nykyinen lineaaritalous on kestämaton ja energiantensiivinen ratkaisu. Arvokkaat materiaalit päätyvät helpommin kierrätettäväksi, ja arvottomat jätteeksi. Hankkeen tavoitteena on kasvattaa arvottomien materiaalien arvoa, jotta näiden materiaalien kierrätyksestä tulisi tehokkaampaa. Tällöin myös rakennuksiin käytetyt materiaalit säilyttäisivät arvonsa ja näin rakennukset toimisivat materiaalipankeina. (BAMB 2019a)

Eräs hankkeessa kehitetyistä keinoista on materiaalipassi, joka on digitaalinen raportti materiaaleille. Materiaalipassi sisältää tiedon materiaalin kaikista ominaisuuksista sen elinkaaren aikana, esimerkiksi fyysiset, kemialliset ja biologiset ominaisuudet, materiaalin terveyden, logistiikan, purkamisen sekä uudelleen ja uusiokäytön näkökulmista. Eri materiaalien materiaalipassit voidaan keskittää verkkopohjaiselle alustalle ja tällöin materiaalitieto on kaikkien saatavilla. Kattavan ja laadukkaan tiedon pohjalta on helpompi tehdä päätöksiä ympäristön ja talouden näkökulmista. (BAMB 2019b)

Hankkeessa kehitetään myös reversiibeileitä suunnittelumalleja rakennuksille, jolloin rakennuksen muuntojoustavuus-, purettavuus- ja uudelleenkasausominaisuudet paranevat. Uudet suunnittelumallit käsittelevät rakenteiden liitoksia, mutta myös kokonaisuuk-sien parempaa suunnittelua. Esimerkiksi ilmastointilaitteiden vaihto voitaisiin toteuttaa siten, että purettavaa olisi mahdollisimman vähän rakenteissa tai tilojen sisäpinnoissa. Suunnittelulla pyritään siis mahdollisimman energiatehokkaaseen rakennuksen huoltoon ja uudelleenkäyttöön. (BAMB 2019c)

Hiser-projektissa keskitytään erityisesti rakennuksiin, jotka ovat elinkaarensa päässä. Bamb-hankkeessa keskitytään pääasiassa uusien rakennusten valmistuksen kehittämi-seen ja nykyisten kunnostuksen innovatiivisimpiin ratkaisuihin. Hiser -projektissa on ta-voitteena luoda uudenlaisia kokonaisvaltaisia ratkaisuja purkujätteiden monimuotoisem-malle hyödyntämiselle kiertotalouden näkökulmasta. Projektissa lähdettiin ratkaisemaan kierrätysongelmaa kehittämällä uusia teknologioita, joita on tähän asti kehitetty viisi eri-laista. Ensimmäisenä tietomallipohjainen älykäs purkaminen, joka mahdollistaa luotetta-vammat laskelmat, materiaalmäärien paremman ennakkoinnin ja jäljitettävyyden ja par-haan purkumenetelmän nopeamman arvioimisen. Lisäksi on kehitetty erilaisia sensori-perusteisia materiaalin tunnistusmenetelmiä, jonka avulla lajittelu helpottuu. Hankkeessa on kehitetty myös kuivalajittelujärjestelmää (Advanced Dry Recovery, ADR), jonka avulla betonijätteestä voidaan erotella 4–12 mm partikkelikoot. (Hiser 2017)

Uusien kehitettyjen tekniikoiden avulla voidaan tehostaa kiertotalousprosessia. Tieto-mallipohjainen älykäs purkaminen helpottaa ja havainnollistaa purkamisen suunnittelua, jätemäärien ja laatujen tarkempaa arviointia sekä jätelogistiikan parempaa suunnittelua. Lisäksi automatisoidut lajittelumenetelmät jätteenkäsittelypaikoilla ja automatisoitu laa-dunarviointimenetelmä parantaa jätejakeiden puhtautta ja siten helpottaa näistä valmis-tettävien uusiotuotteiden valmistamista.

4.1.3 RE4

RE4-hankkeen pääasiallinen tarkoitus on kehittää energiatehokas elementtivalmisteinen rakennuskonsepti, joka mahdollistaa helposti pystyttävät ja purettavat rakennukset. Ele-menttien tulisi sisältää 50–65 % painoprosenttia materiaaleja rakennus- ja purkujät-teestä. Kyseinen valmistustapa säästäisi hiilidioksidipäästöissä yli 30 % ja vähentäisi energiankulutusta 20 %. Hankkeessa valmistetaan myös demorakennuksia eri sääolo-suhteisiin. Demorakennukset sijoitetaan Espanjaan ja Iso-Britanniaan. (RE4 2016)

Hankkeessa kehitetään myös uutta jätteenkäsittelyteknologiaa, joka on yhä kehityksen alaisena. Hankkeessa on kehitetty täysin automatisoitu robottipohjainen systeemi rakennus- ja purkujätteen lajittelulle. Robotti pystyy lajittelemaan kivet ja runkoaineet, tiilet, keraamiset jätteet, lasin, muovin ja puun. Lajiteltu jäte seulotaan tämän jälkeen. Lajittelumekanismi perustuu infrapuna- ja lasersensoreihin, tunnistusalgoritmeihin ja robotiikkaan. Jätepartikkelin tunnistus perustuu kyseisen partikkelin spektrivasteeseen, partikkelien sijaintiin ja kokoon. Sensoreiden välittämä informaatio kootaan tunnistusalgoritmin avulla robottikäden käyttöön. Robottikäsi pystyy käsittelemään alle 6 kg partikkeleita prototyypivaiheessa. (Zerbi et al. 2017)

Tarkka ja tehokas jätteiden lajittelu on olennainen osa rakennus- ja purkujätteen hallintaa ja uusiokäyttömahdollisuuksien parantamista. Puhtaammin lajiteltu homogeeninen materiaaliassa on paremmin uusiokäytettävissä, kun epäpuhtaudet eivät ole haittaamassa valmistusprosessia ja laadunvarmistusta.

4.1.4 Collectors

Collectors-hankkeessa selvitetään kolmen jätevirran tämänhetkisiä käsittelykäytäntöjä Euroopassa. Tavoitteena on sovittaa yhteen ja tuoda julki nykyistä tietoa, jotta saataisiin parempi kokonaiskuva kierrätysysteemien tehokkuuksista. Jätevirrat ovat paperi ja pakkausjäte, elektroniset laitteet sekä rakennus- ja purkujäte. (Collectors)

Hankkeessa toimitaan kolmessa vaiheessa, jossa ensiksi kartoitetaan ja luetteloidaan käytössä olevia menetelmiä Euroopassa. Lisäksi valitaan 12 esimerkkitutkimusta. Toisessa vaiheessa arvioidaan ja perehdytään menetelmien toimivuuteen eri näkökulmista. Kolmannessa vaiheessa kehitetään menetelmiä ja luodaan ohjeistus hyviksi todettujen menetelmien laajemmalle käyttöönnotolle. (Collectors)

Olemassa olevan tiedon keskittäminen on tärkeää. Keskittäminen tuo hyvän tiedon tehokkaammin esille päätöksentekoa ja kehittämistä varten. Kun nykytilanne on saatu kartoitetuksi, voidaan tiedosta tehdä arvioita ja kehittää uusia ideoita siitä, miten menetelmiä voitaisiin jatkossa kehittää.

4.1.5 VEEP

VEEP on pilotointihanke, jossa pyritään kehittämään monikerroksisia betonielementtejä ja kierrätyskerroksia. Elementeissä on tavoitteena käyttää 75 painoprosenttia rakennus- ja purkujätettä. Hankkeessa keskitytään sekä uuden teknologian että materiaalien kehittämiseen. (VEEP 2016)

Kehityshankkeissa on tehty läpimurto betonin kierrätykselle. Kehittyneellä kuivalajittelu-laitteella englanninkieliseltä nimeltään Advanced Dry Recovery (myöhemmin ADR) pystytään murskaamaan betoni ja seulomaan se, kun jätteestä on ensin irrotettu muut materiaalit, kuten asbesti, lasi, metalli ja tiili. ADR tuottaa 60 % karkearakeista (4–12 mm) ja 40 % hienorakeista (0–4 mm) jaetta. Karkearakeista materiaalia pystytään hyödyntämään betonin valmistuksessa, mutta hienojaetta on päätynyt usein maanrakentamiseen erilaisiin täyttöihin. Hienojae sisältää pääasiassa hiekkaa ja sementtiä. Uuden prosessin myötä hienojakeesta pystytään erottamaan hiekka ja sementti erilleen. Prosessi on englanninkieliseltä nimeltään Heating Air classification System (HAS). Hienoaineksen erotelu tekee betonin kierrättämisestä arvokkaampaa, sillä sementti ja hiekka voidaan käyttää erillisinä tuotteina. (Wassink 2017) VEEP -hankkeessa HAS järjestelmälle on tehty koetehdas, jolla voidaan käsitellä 3000 kg hienoainesta tunnissa (VEEP 2016).

4.2 Purkumateriaalien hyödyntämisen tila Euroopan ulkopuolella

Tässä luvussa luodaan suppea katsaus suurien teollisuusmaiden rakennus- ja purkujätteenkäsittelyn nykytilaan ja arvioidaan tilannetta Suomen ja muun Euroopan näkökulmasta.

4.2.1 Yhdysvallat

Yhdysvalloissa toimiva ympäristönsuojeluvirasto (EPA) on kerännyt ja raportoinut dataa syntyvistä jätteistä yli 30 vuoden ajan. Vuonna 2015 rakennus- ja purkujätettä syntyi 548 miljoonaa tonnia, josta 70 % oli betonia ja 15 % asfalttibetonia. Puujätettä oli noin 7 %. EPA valvoo ja kehittää Resource Conservation and Recovery Act (RCRA) lakia ja säädöksiä. RCRA:n tarkoitus on luoda reunaehdot jätteiden käsittelylle. EPA:lla on ainoastaan tietoa rakennus- ja purkujätteiden määrästä, eli ei tietoa näiden jatkokäsittelystä. Tietoa löytyy kuitenkin kotitalousjätteiden käsittelystä. (EPA 2018)

Hallituksen säädöksillä ja ohjelmilla on asetettu purkumateriaalien kierrätykselle samankaltainen ohjeistus kuten Euroopan Unionin jättepuitedirektiivi. Ohjeistuksen mukaan 50–75% rakennus- ja purkujätteestä tulisi kierrättää. Illinoisissa Cook Countyn piirikunnassa otettiin käyttöön vuonna 2012 asetus, jonka mukaan 70 % rakennus- ja purkujätteestä tulee kierrättää ja jätteestä vähintään 5 % tulee uudelleenkäyttää asuinrakennusten purkujätteistä. (Zelechowski 2012)

Yhdysvaltojen Green Building Council on kehittänyt LEED ympäristösertifiointijärjestelmän ekologiselle rakentamiselle. LEED sertifikaatin saamiseksi rakennuksen tulee olla suunniteltu ja toteutettu riittävän ympäristöystävällisesti. Sertifikaatti on käytössä ainakin Yhdysvalloissa ja Euroopassa. (USGBC 2019)

4.2.2 Kiina

Kiinassa 30–40 % maan jätteistä muodostuu rakennus- ja purkujätteestä. Jäte yleensä hävitetään kaatopaikoille ja kierrätysaste on noin viisi prosenttia. Syyt miksi jätteiden määrää ei ole onnistuttu vähentämään johtuvat pääasiassa puutteellisista rakennusmääräyksistä, joilla pyritäisiin vähentämään jätteiden syntyä, alhaisista kaatopaikkamaksuista ja epäasiallisesta kaupunkisuunnittelusta. Purkumateriaalien vähäinen uusiokäyttö johtuu puutteellisesta opastuksesta keräyksen ja lajittelun osalta, puutteellisista standardeista ja tiedoista koskien rakennus- ja purkujätettä sekä kehittymättömistä markkinoista uusiutuotteille. Kierrätyksen ongelmat johtuvat epätehokkaasta käsittelysysteemistä, kehittymättömistä kierrätystekniikoista ja puutteellisista markkinoista kierrätysmateriaalien osalta. Ongelmaa ei Kiinassa täysin tiedosteta ja kiertotalous on käsitteenä täysin vieras osalle rakennussektorilla toimivista työntekijöistä ja yrityksistä. (Huang et al. 2018)

Kiinassa kaupunkirakentamisesta syntyviä jätteitä on kuljetettu laittomasti maaseudulle ja nyt voimakkaasti kehittyvässä maassa rakennusjätteistä on syntynyt ongelmia. Jätteet myös reagoivat keskenään ja niistä muodostuu haitallisia kaasuja. Pekingissä syntyi vuonna 2014 arviolta 40 miljoonaa tonnia rakennus- ja purkujätettä, joista 74 % päättyi suoraan kaatopaikoille ja ainoastaan 3 % käsiteltiin ja kierrätettiin. Pekingissä oli vuonna 2014 vain kaksi yritystä, jotka käsittelevät jätteitä. Kierrätykseen päätyvät lähinnä arvokaimmat metallit. Shanghaissa kierrätysaste oli noin 20 % ja rakennus- ja purkujätettä syntyi vuonna 2014 noin 144 miljoonaa tonnia. Shanghaissa oli tuolloin myös vain kaksi yritystä, jotka käsitelivät jätteitä. (Huang et al. 2018)

5. YHTEENVETO JA JOHTOPÄÄTÖKSET

Rakennussektorilla syntyvien jätteiden määrä on noin 2.5 miljoonaa tonnia vuosittain. Tästä noin 50 % on betonijätettä, sekalaista jätettä noin 20 % ja puujätettä noin 15 %. Jättemäärät ovat suuria. Uudelleen- ja uusiokäytön näkökulmasta toiminta ei ole vielä tarpeeksi tehokasta, jotta saavutettaisiin EU:n asettama 70 % kierrätystavoite. Toki pitkien lämmityskausien takia puun energiahyötykäyttö on Suomessa perusteltua, vaikka EU ei sitä laske kierrättämiseksi. Kehittämistä riittää etenkin juuri puujätteen hyötykäytön tehostamisessa.

Betonista on pystytty kehittämään ja tuotteistamaan uusiokiviaineeksi maanrakentamiseen, mutta uudelleenkäytön näkökulmasta tehostamiselle olisi tarvetta. Elementtejä ei juurikaan uudelleenkäytetä, eikä välttämättä suunnittelussakaan keskitytä vielä nykyään riittävästi elinkaaritarkasteluun, jotta tulevien rakennusten uudelleenkäyttö olisi helpompaa ja kustannustehokkaampaa. Tässä työssä tehtyjen selvitysten perusteella terästen ja lasien kierrätys on Suomessa hyvällä tasolla, vaikka terästä voisi valmistaa täälläkin enemmän kierrätysmateriaaleista. Tiilen valmistuksen tiedetään kuluttavan paljon energiaa, joten onkin syytä miettiä, onko tiilimurskan käyttö järkevää maanrakentamisessa. Tällöin valmistukseen käytetty energia kuluu hukkaan ja tähän käyttöön on olemassa energiatehokkaampia materiaaleja. Tiilien kierrätykseen on kehitetty toimiva järjestelmä Tanskassa, jota kannattaisi hyödyntää myös Suomessa.

Tämän tutkimuksen tarkasteluajanjakso määriteltiin alkamaan vuodesta 2010, jolloin edellinen vastaava selvitys on tehty. Monien asioiden voidaan todeta kierrätysnäkökulmasta olevan edelleen vuoden 2010 tasolla. Betonielementtien uudelleenkäyttö ei ole muuttunut yhdeksän vuoden aikana, tiilien uudelleenkäyttö ei ole tehostunut ja niin edelleen. Kuitenkin muutamia uusia tekniikoita on syntynyt, joista ensimmäisenä mainittakoon mineraalivilloista valmistettu geopolymeeri, jolla voidaan korvata sementtiä betonin valmistuksessa. Myös puun käyttöä bioetanolin valmistukseen on tutkittu, ja kierrätyspuun hyödyntämistä erilaisten puumuovikomposiittien valmistuksessa.

Purkupuulla on sama potentiaali olla hyödyksi liikenteen päästöjen vähentämisessä kuin neitseellisellä puulla. Monista muista energiantuotantomuodoista on vaikeampi valjastaa energiaa liikenteeseen ja menetelmät vaatisivat usein akkuja ja sähkömoottoreita. Sähköä saadaan tuotettua kestävästi tuulesta, auringosta tai vedestä, joista sähkö voidaan edelleen valjastaa sähköautojen akkuihin. Sähköautot kuulostavat teoriassa hyvältä ja

puhtaalta liikkumisen muodolta, mutta näiden autojen vaatima akkuteollisuus on ympäristöä kuormittavaa. Lisäksi sähköautot ovat kalliita, eivätkä ole lähitulevaisuudessa yleistymässä riittävästi Suomessa autojen korkean hinnan vuoksi.

Nykyisiä bensiiniautoja taas voitaisiin valjastaa toimimaan bioetanolilla, mikä olisi realistisempi kehityspolku liikenteen päästöjen vähentämiseen. Voisi olla hyödyllistä tehdä selvitys, jossa tutkitaan, onko purkupuusta mahdollista saada valmistettua biopolttoainetta, mikä olisi oikea sijainti valmistuslaitokselle, mitä kustannukset olisivat ja miten paljon puuta laitos vaatisi ja olisiko puun kuljetuksen puolesta realistista saada aikaan tarpeeksi suuria materiaalivirtoja kustannuksiin nähden.

Harmonisoidun tuotestandardin alaisuuteen kuuluvia CE-merkittyjä uusiomateriaalituotteita ei ole kuin muutamia markkinoilla. Tästä kertoo tuotteiden alhainen kysyntä. Euroopan tasolla on ongelmana, ettei kierrätysmateriaalien laatuun luoteta ja osittain pelätään myös näiden materiaalien aiheuttavan terveyshaittoja materiaaleja käsitteleville ihmisille. Yksi ratkaisu ongelmaan olisi koko kierrätysprosessin laadunvalvonnan lisääminen. Muutamia CE-merkittyjä tuotteita kuitenkin jo on, kuten lasivilla, betonivalmisteiset uusiokiviainekset ja kipsilevy.

Jos vähähiilistä rakentamista halutaan lisätä, yksi vaihtoehto on kannustaa käyttämään mahdollisimman paljon uusiotuotteita rakentamisessa. Tällöin uusille tuotteille voisi syntyä kysyntää ja näitä voitaisiin kehittää. Tutkitut ja hyväksi todetut uusien tuotteiden valmistusmenetelmät ovat myös potentiaalisia vientituotteita, jolloin kotimaisella osaamisella pystyttäisiin vaikuttamaan merkittävästi myös esimerkiksi Euroopan talousalueella rakentamisen ympäristörasituksiin. Kehittyvät teknologiat ja innovaatiot tulevaisuudessa voivat mahdollistaa tehokkaamman kierrätystoiminnan, joten on odotettavaa, että tulevaisuudessa näitä tuotteita olisi enemmän markkinoilla. Muualla teollisuudessa jo mietitään tehokkaasti korvaavia ratkaisuja esimerkiksi muoveille, ja monet muovipakkaukset ovatkin vaihtuneet helpommin kierrätettäviin kartonkipakkauksiin. Tällaista kehitystä toivoisi myös rakennussektorille.

Euroopan sisäisissä kehityshankkeissa on keskitytty tähän asti hyvin paljon uusien teknologioiden ja laitteiden kehittämiseen. Hankkeiden ansioista jätepartikkeleita pystytään erottamaan entistä tehokkaammin toisistaan ja aikaansaadaan homogeenisempia ja puhtaampia jätelajikkeita. Puhtaammat jätelajikkeet mahdollistavat uusiomateriaalien valmistukseen puhtaampia raaka-aineita ja siten uusiotuotteiden laadun pitäisi olla tasaisempaa.

Suomessa rakentamisen kiertotaloudesta saataisiin tehokkaampaa, kun omaksuttaisiin kehityshankkeissa aikaansaattua teknologiaa ja tietoa monipuolisesti. Älykkäiden purkusuunnitelmien luominen tietomallimenetelmällä, jätteiden tehokkaampi lajittelu automatisoiduilla ja kehittyneillä lajittelujärjestelmillä sekä tiedon monipuolinen kerääminen ja tuottaminen luovat pohjan nykyaikaiselle kiertotaloudelle. Puhtaampien jätelajikkeiden jatkojalostus uusiutuotteiksi vaatii vielä kehitystä, mutta nykyaikaistuva vihreä rakentaminen asettaa varmasti kiinnostuksen uusiutuotteiden kysynnälle ja innovoinnille.

LÄHTEET

- BAMB – Buildings as a material bank, 2019 a, About BAMB, verkkosivu. Saatavissa (viitattu 25.4.2019): <https://www.bamb2020.eu/about-bamb/>
- BAMB – Buildings as a material bank, 2019 b, Material Passports, verkkosivu. Saatavissa (viitattu 25.4.2019): <https://www.bamb2020.eu/topics/materials-passports/>
- BAMB – Buildings as a material bank, 2019 c, Reversible building design, verkkosivu. Saatavissa (viitattu 25.4.2019): <https://www.bamb2020.eu/topics/reversible-building-design/>
- Betoniteollisuus, 2019. Betonirakenteiden ekotehokkuus, verkkosivu. Saatavissa (viitattu 8.2.2019): <https://betoni.com/tietoa-betonista/perustietopaketti/ekologisuus/betonirakenteiden-ekotehokkuus/>
- Biotalous, St1 tekee sahanpurusta liikenteen biopolttoainetta, verkkosivu. Saatavissa (viitattu 22.2.2019): <https://www.biotalous.fi/st1-tekee-sahanpurusta-liikenteen-biopolttoainetta/>
- Collectors, About Collectors, verkkosivu. Saatavissa (viitattu 24.4.2019): <https://www.collectors2020.eu/the-project/about-collectors/>
- Dettenborn, T. 2013. Betonimurskerakenteiden pitkäaikaistoimivuus. Diplomityö. Aalto-yliopisto, Insinööritieteiden korkeakoulu. Rakennustekniikka, pohjarakennus ja maamekaniikka. Espoo. Saatavissa (viitattu 15.2.2019): <http://urn.fi/URN:NBN:fi:aalto-201802231594>
- EPA, Environmental Protection Agency, 2018. Advancing sustainable materials management: 2015 fact sheet. Saatavissa (viitattu 25.4.2019): https://www.epa.gov/sites/production/files/2018-07/documents/2015_smm_msw_factsheet_07242018_fnl_508_002.pdf
- Euroopan komissio, 2016. EU:n rakennus- ja purkujätteen käsittely ja kierrätysmalli, PDF. Saatavissa (viitattu 18.4.2019): <https://ec.europa.eu/docsroom/documents/31521/attachments/1/translations/fi/renditions/native>
- European commission, What is Horizon 2020?, verkkosivu. Saatavissa (viitattu 24.4.2019): <https://ec.europa.eu/programmes/horizon2020/en/what-horizon-2020>
- Euroopan parlamentin ja neuvoston direktiivi 2008/98/EY rakennusten energiatehokkuudesta (2008). Euroopan unionin virallinen lehti, L153/13. Saatavissa (viitattu 22.3.2019): <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/FI/TXT/?uri=celex%3A32008L0098>
- Eko-Expert Oy, Puhallusvillan valmistus, verkkosivu. Saatavissa (viitattu 7.3.2019): <https://www.eko-expert.com/puhallusvillan-valmistus>
- Ekovilla Oy, Ekologinen, verkkosivu. Saatavissa (viitattu 8.3.2019): <https://www.ekovilla.com/miksi-ekovilla/ekologinen/>
- FINLEX ® - Ajantasainen lainsäädäntö: Jätelaki 646/2011. Homepage of Oikeusministeriö, Edita Publishing Oy, verkkosivu. Saatavissa (viitattu 21.2.2019): <https://www.finlex.fi/fi/laki/ajantasa/2011/20110646?search%5Btype%5D=pika&search%5Bpika%5D=j%C3%A4telaki#L2P8>
- Finnfoam Oy, Koostumus ja rakenne, verkkosivu. Saatavissa (viitattu 8.3.2019): <https://www.finnfoam.fi/tuotteet/finnfoam-eristelevyt/koostumus-ja-rakenne/>
- Gamle Mursten, About Gamle Mursten, verkkosivu. Saatavissa (viitattu 5.3.2019): <http://en.gamlemursten.dk/about-gamle-mursten/>
- Gyproc (2008). Pienrakentajan käsikirja, Verkkosivu. Saatavissa (viitattu: 15.3.2019): http://www.gyproc.fi/Download/21864/Gyproc_Pienrakentajan_K%C3%A4sikirja.pdf

- Gypsum Recycling, Kierrätettävä kipsijäte, verkkosivu. Saatavissa (viitattu 15.3.2019): http://gypsumrecycling.fi/15966-1_Kierrtettvjte/
- Haara, T. & Betoniyhdistys. 2018. Betonitekniiikan oppikirja 2018. Kuudes päivitetty painos. Helsinki.
- Hirvijoki, T. 2018, Mineraalivillajätteen geopolymerisointi, University of Oulu. Saatavissa (viitattu 15.2.2019): <http://urn.fi/URN:NBN:fi:oulu-201805091624>
- Huang, B., Wang, X., Kua, H., Geng, Y., Bleischwitz, R. & Ren, J. 2018, Construction and demolition waste management in China through the 3R principle, ScienceDirect. Saatavissa (viitattu 25.4.2019): <https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2017.09.029>
- Huuhka, S. 2010, Kierrätys arkkitehtuurissa. Betonielementtien ja muiden rakennusosien uudelleenkäyttö uudisrakentamisessa & lähiöiden energiatehokkaassa korjaus- ja täydennysrakentamisessa, Tampereen teknillinen yliopisto. Saatavissa (viitattu 8.2.2019): <http://urn.fi/URN:NBN:fi:ttu-201004161101>
- Isover (2019). Kierrätyslasista eristeeksi, verkkosivu. Saatavissa (viitattu 7.3.2019): <https://www.isover.fi/valitse-isover/hyva-ymparistolle/kierratyslasista-eristeeksi>
- Koistinen, T. (2017). Rautaruukin ostanut SSAB aikoo mullistaa vuosituhtantisen tavan tuottaa terästä – Jättimäiset hiilipäästöt jopa nollaan. Yle uutiset. Verkkosivu. Saatavissa (viitattu 28.3.2019): <https://yle.fi/uutiset/3-9908906>
- Koivisto, K., Forsman, J. & Vaajasaari, K. 2016. UUMA 2, Uusiomateriaalien tuotteistamisohje maarakentamiseen. Saatavissa (viitattu 29.3.2019): http://www.uusiomaarakentaminen.fi/sites/default/files/Tuotteistamisohje%202016_05_20_0.pdf
- Kojo, R. & Lilja, R. 2011. Talonrakentamisen materiaalitehokkuuden edistäminen. Ympäristöministeriön raportteja. Saatavissa (viitattu 22.2.2019): <http://hdl.handle.net/10138/41495>
- Knaufinsulation (2015). Valitse oikea eriste palosuojaukseen, verkkosivu. Saatavissa (viitattu 4.4.2019): <https://www.knaufinsulation.fi/news/valitse-oikea-eriste-palosuojaukseen>
- Knauf (2017). Materiaali ja palo – kipsi luonnollisena sprinklerinä, verkkosivu. Saatavissa (viitattu 21.3.2019): <https://knauf.fi/suunnittelijoille/paloasiat/materiaali-ja-palo>
- Lahdensivu, J., Huuhka, S., Annala, P., Pikkuvirta, J., Köliö, A. & Pakkala, T. 2015, Betonielementtien uudelleenkäyttömahdollisuudet, Tampereen teknillinen yliopisto. Rakennustekniikan laitos. Saatavissa (viitattu 14.2.2019): <http://urn.fi/URN:ISBN:978-952-15-3461-4>
- Manninen, K., Judl, J. & Myllymaa, T. 2015, Rakentamisen puujätteiden ja puupakkausjätteiden käsittelyvaihtoehtojen elinkaarenaikaiset ympäristövaikutukset, Ympäristöministeriö. Saatavissa (viitattu 23.2.2019): <http://hdl.handle.net/10138/159224>
- Myller, E. 2015. Sekalaisen puujätteen testaus erilaisten lopputuotteiden valmistuksessa, Ympäristöministeriö. Saatavissa (viitattu 22.2.2019): <http://hdl.handle.net/10138/158956>
- Mäki-Petäjä P. & Ekholm E. (2015). Kipsilevyille uusi kierrätysmenetelmä – keräysjärjestelmä puuttuu. MTV uutiset. Verkkosivu. Saatavissa (viitattu 15.3.2019): <https://www.mtvuutiset.fi/artikkeli/kipsilevyille-uusi-kierratysmenetelma-keraysjarjestelma-puuttuu/4819450#gs.4egdp2>
- Nieminen, A. 2015, Murskatun betonin hyödyntäminen uusiokiviaineksena betonissa; Use of crushed concrete as a recycled concrete aggregate. Saatavissa (viitattu 14.2.2019): <http://urn.fi/URN:NBN:fi:aalto-201512165726>
- Nippala, E. & Vainio, T. 2016. Asuinrakennusten korjaustarve 2006-2035, VTT, Espoo. Saatavissa (viitattu 22.2.2019): <https://www.vtt.fi/inf/pdf/technology/2016/T274.pdf>
- Niskanen, T. & Karjalainen, T. 2014. Biopolttoaineiden tuotantomahdollisuudet Kainuussa, Oulun yliopisto. Saatavissa (viitattu 22.2.2019): https://www.oulu.fi/sites/default/files/content/files/Biopolttoaineiden%20tuotantomahdollisuudet%20Kainuussa_Final_0.pdf

- Paroc, Paroc-kivivilla – luonnollisen kestävä eriste, verkkosivu. Saatavissa (viitattu 7.3.2019): <https://www.paroc.fi/miksi-kivivilla>
- Peuranen, E. & Hakaste, H. 2014, Rakentamisen materiaalihokkuuden edistämishjelma, Ympäristöministeriö. Saatavissa (viitattu 13.2.2019): <https://helda.helsinki.fi/handle/10138/135172>
- Pilkington (2019). Mitä lasi on?, verkkosivu. Saatavissa (viitattu 14.3.2019): <https://www.pilkington.com/fi-fi/tietoa-yhtiosta/mita-lasi-on>
- Pirhonen, I., Heräjärvi, H., Saukkola, P., Rätty, T. & Verkasalo, E. 2011. Puutuotteiden kierrätys – Finnish Wood Research Oy:n osarahoittaman esiselvityshankkeen loppuraportti. Metlan työraportteja / Working Papers of the Finnish Forest Research Institute 191. 66 s. ISBN 978-951-40-2284-5 (PDF). Saatavissa (viitattu 22.2.2019): <http://www.metla.fi/julkaisut/workingpapers/2011/mwp191.htm>.
- Rautkoski, H., Vähä-Nissi, M., Kataja, K., Gestranus, M., Liukkonen, S., Määttänen, M., Liukkonen, J., Kouko, J. & Asikainen, S. 2015, Jätepuusta kuitumateriaalia uusille tuotteille (Puu-kuitu), VTT. Saatavissa (viitattu 22.2.2019): <https://www.vtt.fi/inf/julkaisut/muut/2014/VTT-R-06095-14.pdf>
- RE4, 2016, Project background and purpose, verkkosivu. Saatavissa (viitattu 24.4.2019): <http://www.re4.eu/project-description>
- RIL 216-2013 (2013). Rakenteiden ja rakennusten elinkaaren hallinta. Suomen Rakennusinsinöörien Liitto RIL ry. 238 s.
- RT 38096 (2011). Tiileri. RT CAD-kirjastot.
- RT 38406 (2013). Kahi-kalkkihiekkatiliet ja -harkot. RT CAD-kirjastot.
- Rudus, 2017. Betoroc -murskeohje: Käyttöohje rakentamiseen ja suunnitteluun. Saatavissa (viitattu 15.2.2019): <https://www.rudus.fi/tuotteet/kierratys/betonimurske>
- Salmenperä, H., Sahimaa, O., Kautto, P., Vahvelainen, S., Wahlström, M., Bachér, J., Dahlbo, H., Espo, J., Haavisto, T. & Laine-Ylijoki, J. 2016, "Kohdennetut keinot kierrätyksen kasvuuun". Saatavissa (viitattu 15.2.2019): <https://tietokayttoon.fi/julkaisu?pubid=15201>
- Selluvilla, Luonnollinen lämmöneriste. Saatavissa (viitattu 28.3.2019): <http://www.selluvilla.net/>
- SSAB, Teräksen tuotanto, verkkosivu. Saatavissa (viitattu 14.3.2019): <https://www.ssab.fi/ssab-konserni/kestava-kehitys/kestavat-toiminnot/teraksen-tuotanto>
- USGBC, 2019. U.S. Green Building Council, LEED, verkkosivu. Saatavissa (viitattu 25.4.2019): <https://new.usgbc.org/leed>
- Uusioaines Oy a, Tasolasin kierrätys, verkkosivu. Saatavissa (viitattu 18.4.2019): <https://www.uusioaines.com/lasinkierratyspalvelut/tasolasin-kierratys/>
- Uusioaines Oy b, Foamit, Vaahtolasimurske – täyttää kevyesti, verkkosivu. Saatavissa (viitattu 15.3.2019): <https://www.foamit.fi/yritys/video/>
- VEEP, 2016. Scope, verkkosivu. Saatavissa (viitattu 24.4.2019): <http://www.veep-project.eu/Page.aspx?CAT=STANDARD&IdPage=6aca0a41-ca8b-49fd-b678-08ae93c96a13>
- Vuorinen, P., Energiatohokkuuden parantaminen vähentää päästöjä, Rakennusteollisuus, verkkosivu. Saatavissa (viitattu 7.2.2019): <https://www.rakennusteollisuus.fi/Tietoa-alasta/Ilmasto-ymparisto-ja-energia/Ilmasto-ja-energiapolitiikka/>
- Väntsi, O. 2015. Utilization of recycled mineral wool as a filler in wood plastic composites. Saatavissa (viitattu 22.3.2019): <http://urn.fi/URN:ISBN:978-952-265-856-2>
- Wassink, J. 2017. The last step in concrete recycling, verkkosivu. Saatavissa (viitattu 24.4.2019): <https://www.delta.tudelft.nl/article/last-step-concrete-recycling>

Ympäristöministeriö, 2011. Usein kysytyt kysymykset: CE-merkintä. PDF. Saatavissa (viitattu 18.4.2019): <http://www.ym.fi/download/noname/%7B67EEE500-ACBF-44E0-B286-053530B220C7%7D/32633>

Zelechowski, E., 2012. Deconstruction and reuse. Saatavissa (viitattu 25.4.2019): https://delta-institute.org/delta/wp-content/uploads/DeconstructionAndReuseGoGuide2ndEd_Web.pdf

Zerbi, T., Roberto, L., Raffaele, V., Konstantinos, G. & Soutsos, M., 2017, Indexing and sorting robot base on hyperspectral and reflectance information for CDW recycling. Hollanti, Delft University of Technology. Saatavissa (viitattu 25.4.2019): <http://www.re4.eu/documents/publications/scientific-publications>